

## (87) 割れ目の統計的相似性に基づく Site Characterization の試み

東京大学工学部 学生会員 ○ 大野 博之  
東京大学工学部 正会員 小島 圭二

はじめに

サイトの適否を決定する上で、割れ目の発達状況は重要な要因の一つである。ここでは割れ目の空間的分布の統計的相似性を用いて、Site Characterization を試みた。

### 1. 割れ目系の空間的分布

#### 1.1 サイト調査から得られる分布

日本各地の花崗岩地帯のサイトで、割れ目に関する地質要因（断層・節理の密度や長さ、断層の破碎幅やずれ）を調査坑やボーリング孔で計測した一例をFig.1に示す。(a)は断層や節理の長さ、(b)は断層の破碎幅である。また、断層の破碎幅やずれの長さは小島他(1981)にも報告されている。これらの諸量はどれも対数正規分布で近似される。密度に関しては、Fig.10に示すように本数密度（単位面積当りの割れ目数）はポアソン分布に従う。

#### 1.2 広域調査から得られる分布

あるサイトを含み、割れ目形成の地質学的な履歴（地史）が同じ花崗岩帯について、地表踏査や空中写真の分布を調べてみると、1.1と同様Fig.2が得られる。破碎幅について、各々の縮尺の統計量の比較を行うとTab.1が得られる。長さについても同様な結果が得られる。

### 2. 断層の地質要因間の相関

割れ目を調査するに当たって、調査坑やボーリング孔等、岩盤を小さなスケールで見た場合には長さは測定し難いが、断層の破碎幅（成層岩盤や岩脈を伴う塊状岩盤のずれの長さも）は比較的計測し易い。大きなスケールで見た場合には逆である。

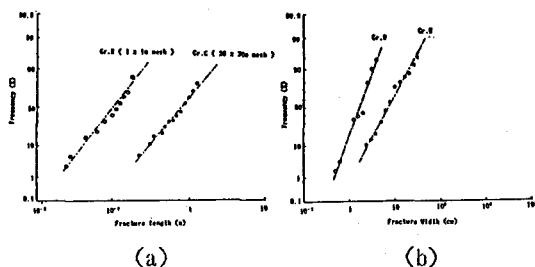


Fig.1 An example distribution of fault/sheared zone (Field data).

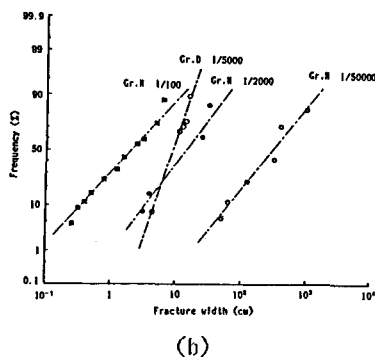
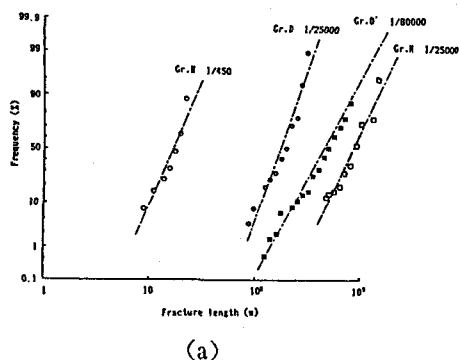


Fig.2 An example distribution of fault/sheared zone (Map data).

割れ目要因間になんらかの相関があれば、異なったスケール間の異種データを有効に利用できる。

断層について、これらの要因間の関係を両対数グラフにプロットしてみるとFig.3,4 に示すような直線的な関係が得られる。これは断層の長さが大きければ、ずれの量も大きく、破碎幅も大きいことをよく現している。

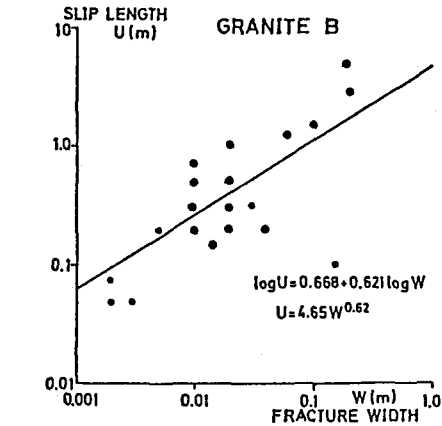


Fig.3 Correlation between fracture width and slip length.

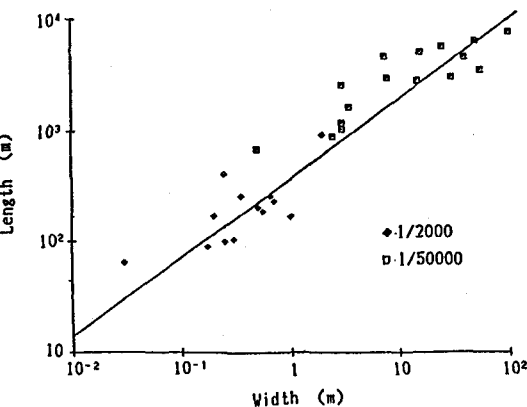


Fig.4 Correlation between fracture width and fracture length in Gr.H.

### 3. 岩盤のスケールと割れ目系の統計的相似性

割れ目系の調査やモデリングに際しては、サイトの近傍では岩盤のスケールが小さいので、比較的小規模な割れ目が目につくし、逆に大きな割れ目が観察される機会は少ない。サイト周辺の広領域ではこ

Tab.1 Average, variance and fractal dimension of fracture width in Gr.H region.

|                    | Map Scale | Average<br>(log(cm)) | Variance<br>(log) | Fractal<br>Dimension |
|--------------------|-----------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Field Survey       | 1/5       | -0.248               | 0.439             | 0.931                |
| Adit Expansion Map | 1/100     | 0.844                | 0.481             | 0.985                |
| Geological Map     | 1/2000    | 1.557                | 0.234             | 1.000                |
| Geological Map     | 1/50000   | 3.011                | 0.487             | 0.969                |

Average Fractal Dimension  $0.984 \pm 0.069$

の逆になる。

試みにいくつかの花崗岩体について、地質図の縮尺と密度、長さ、破碎巾の平均値を両対数上にプロットするとFig.5,6,7のような直線的な関係が得られる。この図をさらに詳細に見ると、破碎巾はどの

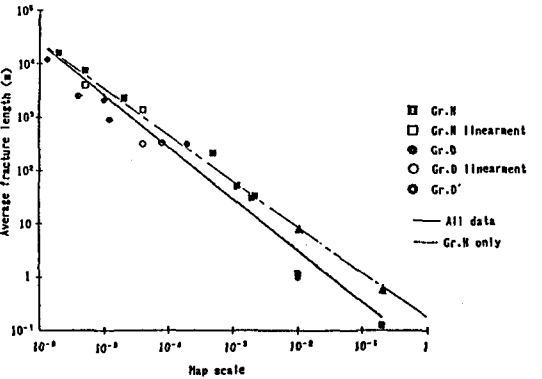


Fig.5 Relations between map scale and average fracture length.

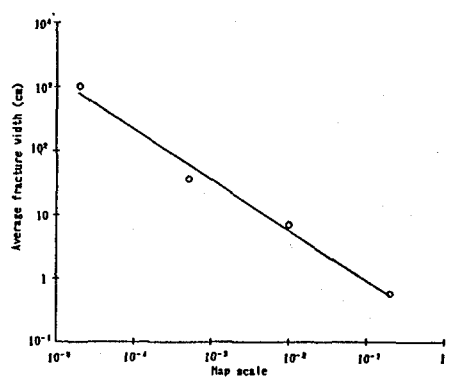


Fig.6 Relations between map scale and average fracture width.

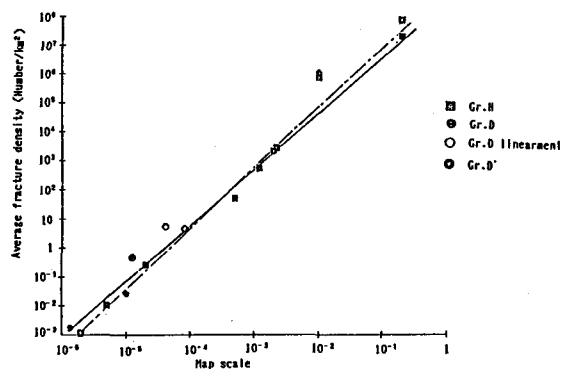


Fig.7 Relations between map scale and average fracture density.

Broken line estimated by fractal dimension.

縮尺においてもほぼ同一の直線上にのるが、長さは縮尺1/100程度を境にして、2つの平行な直線に分かれるように見える。1/100より小さな縮尺においては、地表踏査による面的な拡がりで見えているのに対し、より大きな縮尺においては調査坑やボーリング孔といった線的な調査であり、2章で述べたように長さの計測が困難であること、細かい節理も含めて観察していること等に原因が求められる。

Fig.4に示した長さと破碎巾の関係を外挿して1/100以上の縮尺の割れ目を断層のみのそれに補正すると、Fig.5の▲となり、同一の直線上にのることが見出される。割れ目の本数密度 (Fig.7) についても同様な関係が見出される。

Tab.1に示したように破碎巾の分布は対数正規分布を示し、その平均値は縮尺が小さくなると増加する。そして分散はどのスケールのデータもほぼ同じ値を示し並進性がある。すなわち相似変換に際して統計的な自己相似性が認められる。長さについても上記の補正をほどこすと同様な関係が認められる。

データの多い、長さについて考察を進めると、ある長さL以上の超過確率は

$$P(L) = \int_L^\infty p(x) dx$$

ここで、 $p(x)$ は確率密度関数

$P(L)$ に関してLをλ倍した時 $P(L) \propto P(\lambda L)$ と成るためには

$$P(L) \propto L^{-D_L}$$

である。但し、 $D_L$ は長さのフラクタル次元、 $a$ は定数である。

各縮尺毎の $P(L)$ と割れ目の長さLを両対数グラフ上にプロットするとFig.8が得られる。 $P(L)$ が50~100%程度の間では直線関係が示され $D_L \approx 2.0$ が得られる。図中对数正規分布の理論直線を併記する。分布型はどれも同じである。 $P(L)$ は割れ目本数に比例するから、 $10^4 \text{ km}^2$ 当り、長さがL以上の割れ目の個数に換算して、各々の縮尺での割れ目本数を両対数上にプロットするとFig.9の様な

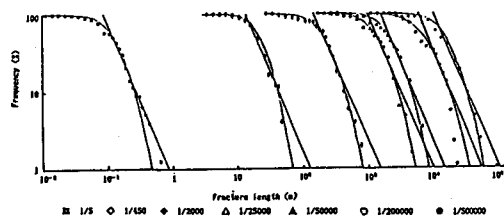


Fig.8 Fractal length distribution of each map scale in Gr.H region.

Straight lines are fractal distribution line. Curved lines are lognormal distribution line. All fractal dimension are about 2.0.

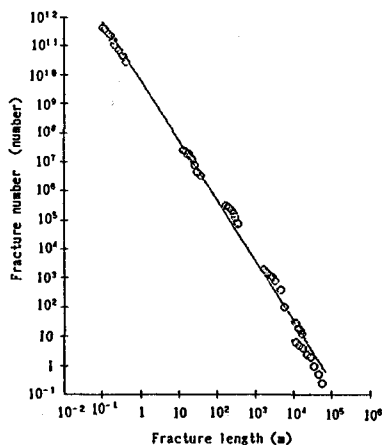


Fig.9 Distribution of fracture length.

Axis of ordinates gives mean number of fracture length more than  $l(m)$  in  $10^4 \text{ km}^2$  area. Fractal dimension is about 2.0.

直線が得られる。破碎巾についても同様である。これはあるスケールの岩盤の計測では、細かい割れ目は、人間の目による計測では省略されたり見えないため、精度に限界があり、計数に取りこぼしが生じる。また大きな割れ目は計測領域の岩盤中にはいる機会が少なくなり取りこぼされる。人間の目は全体としてはほぼ対数正規分布に近似した見方をしているのである。これに対し自然の規則性はベキ乗分布になると考えると両分布の違いが説明される。

このように長さや破碎巾には、統計的な自己相似性があり、寸法の変換はフラクタル次元であらわされることが認められる。この場合、割れ目の本数密度と地質図の縮尺との間にも次のような関係があることが導かれる。

$$\rho \propto S^{D_p}$$

但し  $\rho$  は割れ目の本数密度、 $S$  は地質図の縮尺、 $D_p$  は密度のフラクタル次元である。Gr.DやH地域のデータについて長さのフラクタル次元  $D_L$  は Fig. 9 から、 $D_L \approx 2.0$  であり、これから求めた密度の理論直線は Fig. 7 の一点鎖線となる。本数密度の実測値はほぼこの直線に一致し、 $D_p$  もほぼ 2.0 である。

$D_p$  がほぼ 2.0 であるので相異なる縮尺  $S_0, S_1$  での平均割れ目本数  $n_0, n_1$  の間には、

$$n_0/n_1 \approx (S_0/S_1)^{-D_p+2}$$

従って  $n_0 \approx n_1$  の関係がある。

#### 4. Site Characterizationへの適用の試み

Site Characterizationに当たっては、大きな領域から小さな領域、またはその逆の平均的な割れ目状況を予測し、サイトの適否を判定することになるが、特に広領域での割れ目の密度データは少ない。3章で述べたように、Gr.DやH地域ではフラクタル次元が 2.0 であるので平均割れ目本数はほぼ同じであり、本数はポアソン分布に従うはずである。スケールの一定領域内（この場合、地図の大きさを 20cm×20cm で等しくする）での本数データをまとめた平均値は、ほぼ実際の平均値に近似するはずである。この地域で得られた 1/50 万から 1/450 までの

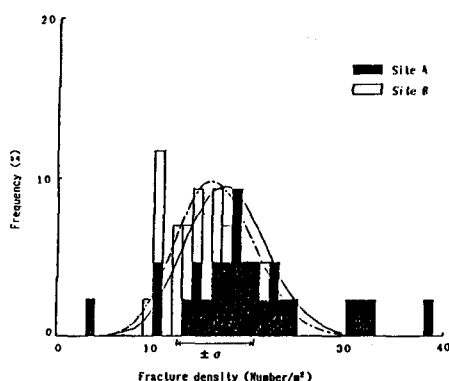


Fig.10 Distribution of fracture density in Gr.H region.

Real line estimated by map of 1/500000~1/450. Broken line given by field data.

データの平均値  $\bar{N}$  と分散  $\sigma^2$  は、いずれにしても調査坑やボーリング孔の寸法での実測値とほぼ一致する。

この地域には 2 つの異なるサイトがあるので、それを別々にサイト A、サイト B として、この両サイトについての割れ目特性の比較を行う。Fig.10 には以上の分布曲線の他にこの両サイトの密度分布をヒストグラムで示してある。鎖線は、データの内 30 本/m² 以上の値を除外した時に、ポアソン分布に適合する理論曲線であり、実線は 1/50 万から

1/450 のデータから求められた理論曲線である。

サイト A は平均  $\bar{N}$  が 19 本で平均的なサイトであるが、場所によっては非常に大きな密度を有しており、+1  $\sigma$  以上が全体の 3 割を占め、決して良いサイトとは言えない。それに対して、サイト B はその全てがこれ以下、平均も 14 本であり、割れ目が少ないサイトと判断される。

#### 参考文献

小島 圭二 他 (1981) 応用地質 22-1

## (87) AN EXAMPLE OF SITE CHARACTERIZATION BASED ON FRACTURE STATISTICS

Hiroyuki OHNO and Keiji KOJIMA

Dept. Mineral Development Eng.

The University of Tokyo JAPAN

### ABSTRACT

Fracture detection is one of the most important factors for site characterization of rock mass. Fracture detection is discussed here from the viewpoint of statistically similar relationship among the granitic rock masses which are the same in geology and geological history but different in scale.

(1) Statistical distributions of geological factors of fracture are presented from the investigation of geometrical distribution of fractures in various map scale in field. Fracture length and width of sheared zone shows log-normal distribution but fracture density in number Poisson's distribution in any scale.

(2) Good correlations are found between fault length or slip length and width of sheared zone. It's convenient to supplement the data among the different rock masses in scale.

(3) Statistically similar relationship is found in the geological factors of fractures in different scale of rock masses. These values would be able to transform each other in scale by fractal dimension.

(4) Site characterization was tried out based on this relationship in some fields of granite. The local site characteristics are reasonably detected from the statistical data of regional ones.