

(1) 岩盤割れ目系の確率モデルによる評価

東京大学 工学部
同

小島 圭二
西村 毅

はじめに

近年、地下貯蔵空洞、放射性廃棄物の地層処分などの地下空間の利用が進みつつある。地下空間周辺の主な透水経路は、割れ目系であり、この岩盤割れ目系の連続性を知ることが重要である。しかし岩盤中の割れ目を現地で計測し、その空間的な分布を決定論的に求めるには多くの難点がある。そこで、この論文では、割れ目系の分布を確率論的に求める試みがなされている。すなわち、現地の限られた地域での計測結果から、卓越割れ目群のそれぞれの出現確率を求め、これから岩盤中の任意の断面での割れ目系のトレースを表示する。

次にこのようにして得られた断面図が、割れ目系のモデルとしてどの様に適用され得るかを、実測結果と比較することにより検討し確率モデルによる評価の妥当性をさぐる。

1. 割れ目系モデルの作成方法

割れ目系の確率モデルを作成するにあたり割れ目の方向性、密度、長さの分布を把握しなければならない。

割れ目は、一般にいくつかの卓越方向を持って分布する。そこで、現場の露頭やボアホールテレビ、抗内などでの割れ目調査のデータより、いくつかの卓越方向と、卓越方向ごとの出現頻度を決める。

また割れ目の長さの分布については、割れ目長さの平均を μ とすると、その確率密度関数は、次式で表される負の指数分布に従う(Priest & Hudson, 1981)。

$$f(x) = (1/\mu) \exp(-x/\mu)$$

図1は、任意の断面上の割れ目の発生方法を示したものである。

まず、断面上の任意の点を割れ目トレースの中心とする。これに卓越方向の走行傾斜より計算された

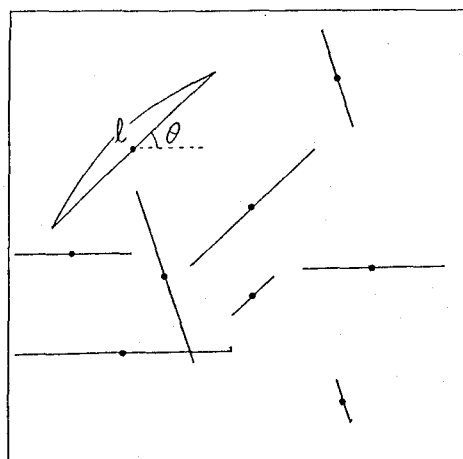


図-1 割れ目系モデルの断面図

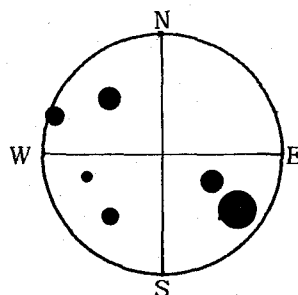


図-2 シュミットネットによる
割れ目の頻度分布

表-1 割れ目系モデル卓越方向と頻度
(GrB)

走向/傾斜	頻度 (%)
N34E76N	34.8
N46E68S	19.7
N26E40W	16.5
N56W62N	13.4
N24E90S	11.1
N13W60N	4.5

断面上での方向を持ち、負の指数分布に従う長さの割れ目トレースをモンテカルロ法により決定する。これを卓越方向ごとに、所定の割れ目密度になるまで繰り返すというものである。このような方法で任意の断面での二次元の割れ目系の分布が得られる。

2. 割れ目系の実測とモデル化

ある花こう岩地域における、長さ約50m、高さ約40mの露頭調査による割れ目の分布を、シュミットネット上に表し、これから3個の卓越方向を読みとり、その走行傾斜と頻度を示したものが表1である。図3は、割れ目長さの分布をヒストグラムで表したもので、割れ目の平均長さは5.02mである。また、負の指数分布の理論曲線を図中に並記してある。長さの分布が、ほぼ負の指数分布に従うことがわかる。また、露頭調査による平均割れ目密度は、 1m^2 当り0.32mであった。この地域では、ボーリング調査も行われており、12本のボーリングコアによる、平均割れ目密度は、1m当り3.35本であった。露頭での2次元の密度と、ボーリングでの1次元の密度との相違は、露頭では計測範囲が広いので、比較的短い割れ目全ては測定できなかったためと思われる。

図4は、現場でのデータをもとにして作成した、割れ目の確率モデルの一例である。

3. 割れ目系モデルの評価

3.1 割れ目の連続性の評価

ここでは、割れ目網が周囲から中央の地下空洞までどれだけつながっているかを、連続率で表すことにした。連続率は、断面上に存在する割れ目の合計長さ(図5の1~16の割れ目の長さの和)で、連続する割れ目の長さ(図4の1~7の割れ目の長さの和)を割ったものである。

次に、連続率に影響を与える要因に、どのようなものがあるかを調べたものが、図5と図6である。同じ条件でも、与える乱数系列により連続率が異なることがあるので、多数の乱数系列について連続率の計算を試みた。

図6は、割れ目の密度と平均長さを変化させて、

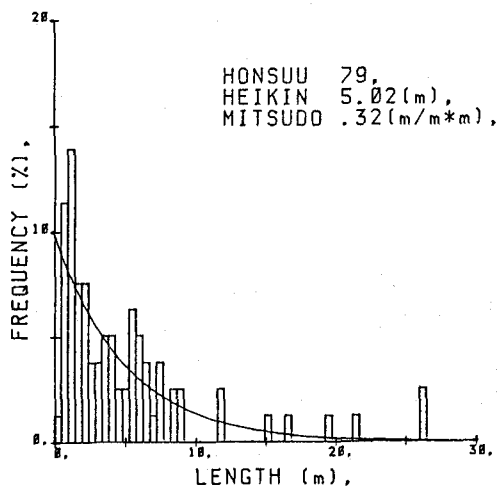
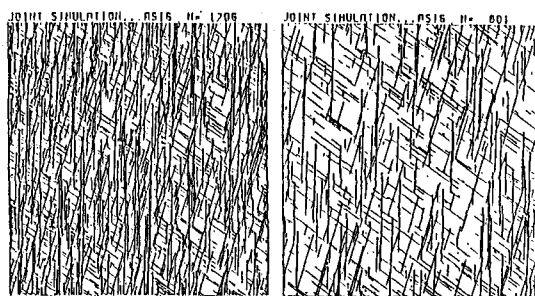


図-3 割れ目長さの分布 (G r B)

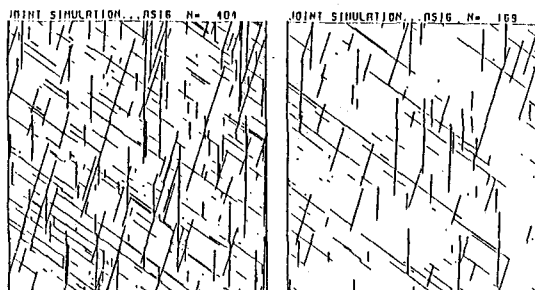


密度 1.57 本/m

連続性 0.98

密度 0.70 本/m

連続性 0.90



密度 0.38 本/m

連続性 0.70

密度 0.17 本/m

連続性 0.30

図-4 割れ目系の確率モデル

連続率との関係を示したものである。いずれの場合も、密度がある点を越えて増加すると連続率が急激に増加することが認められる。連続率が急激に増加する区間では与えた乱数系列毎に値のばらつきが大きいことがわかる。また、平均割れ目長さを変えたと同じ密度でも連続率は悪くなる。

図7は、対象とする岩盤の大きさが異なると、連続性がどう異なるかを示したものである。岩盤の大きさを、それぞれ50m、100m、200m四方と変化させて連続率を計算したものである。岩盤の寸法を大きくすると、連続率のばらつきの幅が小さくなり、連続率の曲線の急増傾向が著しくなることが認められる。

以上の結果より、岩盤割れ目系の連続性を評価する場合に、割れ目密度と平均割れ目長さが重要なデータとなっているといえる。またある程度広い領域の岩盤を考えれば、図5に対応した或る割れ目密度以上になれば、岩盤中のほとんどの割れ目は連続しているとみなすことができる。

3.2 確率モデルの妥当性

本章では、このようにして作成した確率モデルによる評価が、実際の割れ目系岩盤の評価として、どれほど妥当性があるかについて述べてみたい。

図8は、ボーリングによる割れ目みつどの実測値と、確率モデルによる割れ目密度の計算値との比較をおこなったものである。図中実線は、約100mのボーリングコアでの、1mごとの割れ目密度の分布を表したものである。破線は確率モデル上に仮想のボーリング孔を掘ったとして、同様に1mごとの割れ目密度の分布を表したものである。区間を1mとしたのは、RQDや孔内変形試験値による岩盤評価の寸法を想定していることによる。両者のグラフは、ほぼ一致しており直線上で密度に関しては、確率モデルは充分妥当なものといえる。

図9は、同じ花こう岩地域での6本のボーリングの結果を総合して、図8と同様に確率モデルとの比較をおこなったものである。比較した区間は10mで、これは孔内透水試験値や施工性に関する岩盤評価を想定した寸法である。また局所的な調査データで、どこまで広域な割れ目系分布を予測できるかを試みた。しかしこの例では、両者にはあまり良い一

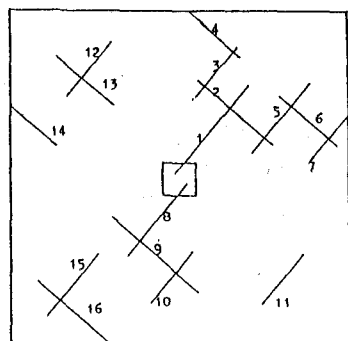


図-5
地下空洞
への
割れ目の
連続性

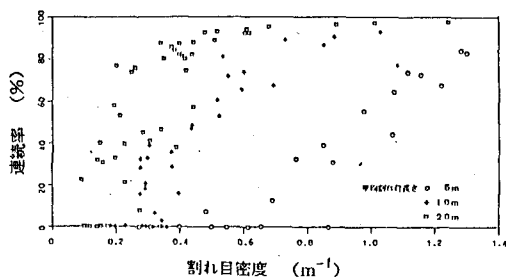


図-6 平均割れ目長さが異なる場合の割れ目の
連続性と平均割れ目密度の関係 (GrD)

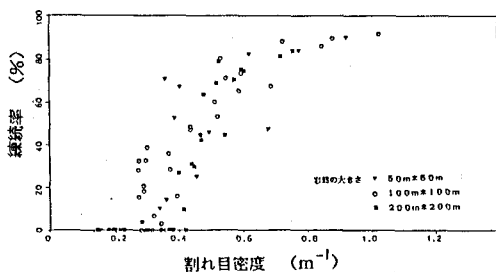


図-7 岩盤の大きさと連続率

致はみられない。確率モデルに比べると、割れ目密度の実測値は、よりばらつきが大きいことがみとめられる。6本のボーリング孔は、最大1 Km程度離れており、断層による割れ目の増加や岩盤ブロック間の回転などがあることを考えると、このような広い範囲では、場所による平均割れ目密度のちがいや割れ目方向の変化などにより割れ目の分布に差があるためと思われる。この地域では、平均割れ目密度が比較的大きい所と小さい所とが区別される。それぞれの密度分布は上記のボーリング孔に関しては、図中の2曲線(実線)で示される。平均割れ目密度は、 1.83 m^{-1} および 3.83 m^{-1} である。これに対して、これらを一括して得られた、割れ目系モデルでは、 2.59 m^{-1} で、図中の破線で示される。詳細なモデルが必要な場合には、ある領域ごとに、異なった割れ目系のデータをいれるなどの操作が必要であろう。

引用文献

Priest, S.D. and Hudson, J.A. (1981) Int. Jour.
 Roch Mech. Min. Sci. and Geomech. Abst. Vol. 18

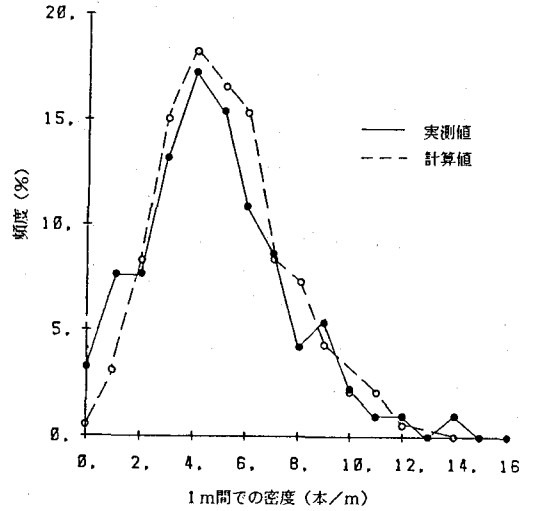


図-8 ボーリングでの割れ目密度の分布 (Gr B)

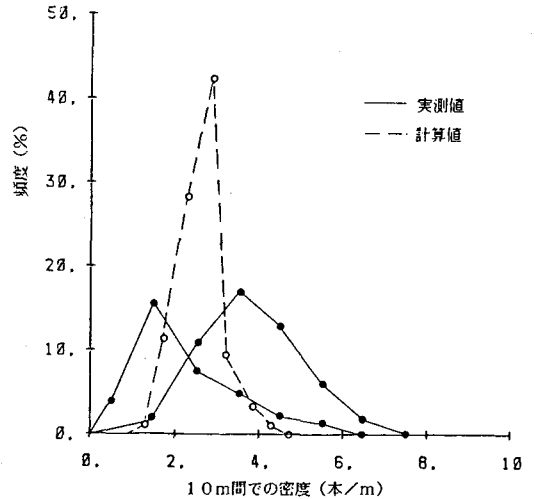


図-9 ボーリングでの割れ目密度の分布 (Gr B)

(1) AN APPROACH TO THE EVALUATION OF FRACTURE SYSTEM IN ROCK MASS
BY PROBABILITY MODEL

NISHIMURA Tsuyoshi* and KOJIMA Keiji*

It is very difficult to investigate fracture system and illustrate its geological section deterministically from the restricted data obtained from field survey.

Probability works are another way toget appropriate fracture model adding to the field data.

Traces of fractures on any section are illustrated here based on the survey of probability distribution of length and density of the dominant fractures, computer calculation and graphics.

In this paper, geologic sections of fracture system obtained this are also compared with some field evidences.

* Dept. Mineral Development Eng., The University of Tokyo
Tokyo, JAPAN