

埼玉大学 工学部 渡辺 邦夫
、 〇石 山 宏 二

はじめに

最近、岩盤内に発達する割れ目系のモデルが多く提案され、モデルの特性を記述するためのパラメーター、たとえば、方向分布や間隔幅分布などが計測されている。しかしながら、これらのモデルやそれに基づく計測にはまだ不十分な点が多く含まれている。とくに、割れ目系の連続性と場所的な不均質性がよく表現されない点が大きな問題である。たしかに連続性については、現在最も良く使われている、Long ら¹⁾のモデルによっても、割れ目密度や方向分布、長さ分布の関数として一応表現することはできる。しかし、こういったモデルも、基本的には、岩盤物性と割れ目系特性との関係を調べるための、数値計算処理のしやすさと、割れ目系形態の表面的類似性に基づいており、はっきりとした物理的意味を持つものではない。したがって、連続性も1つの独立したパラメーターとして、モデルの中に含ませることが不可欠と考える。このことは、場所的不均質性の問題とあわせて、岩盤中の物質拡散などの現象を把握する上で極めて重要といえる。今回の報告は、渡辺^{2,3,4)}が提案した、割れ目連続性と場所的不均質性を計測・評価する方法の適用例を示すと共に、連続性計測を基礎とした、割れ目系モデルの作製法を提案するものである。

1. AVTD法と確率論的連続性評価法に基づく岩盤割れ目計測・評価法

AVTD法は、Wise ら⁵⁾が、その妥当性について詳細な検討を加え提案した方法であり、1つの走査線上の割れ目系の走向分布の変化によって、広域岩盤割れ目系の場所的な不均質性を表現するものである。一方、確率論的連続性評価法は、割れ目系が確率過程の1つである浸透過程で近似しうると考え⁴⁾、図-1に示す4つの割れ目端点・接合点($T_1 \sim T_4$)の各々の数($NT_1 \sim NT_4$)の割合によって連続性を表現する確率パラメーター(P_b)を求めるものである。 P_b は、 $NT_1 \sim NT_4$ の比、とくに NT_1 / NT_3 、 NT_3 / NT_4 によって容易に算定しうる³⁾。本文では、各々より得られた値を $P_b(1-3)$ 、 $P_b(3-4)$ と書き、平均値を $\overline{P_b}$ と書く。割れ目が、浸透過程に従って一様に分布している場合、それらの値は一致する。しかし、図-2に示すように、割れ目が偏在している場合、○で示す T_1 端点および●の T_4 接合点の数が多くなり、●で示す T_3 接合点数が少なくなる。このような場合は、 $P_b(1-3)$ 値と $P_b(3-4)$ 値が異なる(この場合、 $P_b(3-4) > P_b(1-3)$)。したがって、これらの大きさによって、局所的な割れ目の偏在の程度をある程度評価することができる。また、平均的な特性は $\overline{P_b}$ 値によってあらわしうる。浸透過程の理論によれば、系の連続性は、 $\overline{P_b}$ 値が、系の全体的なパターンによって定まった限界確率 P_c を超えるかどうかによって評価しうる。 $P_b > P_c$ では、すべての割れ目が連続していると考えて良く、一方 $P_b < P_c$ では、系は分断しているとしうる。したがって、得られた P_b 値と、 P_c 値(図-1のパターンでは0.5)との比較により、容易に

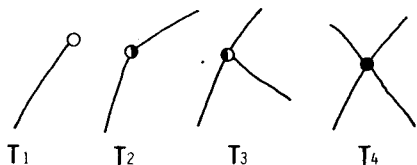


図-1 割れ目連続性の4パターン

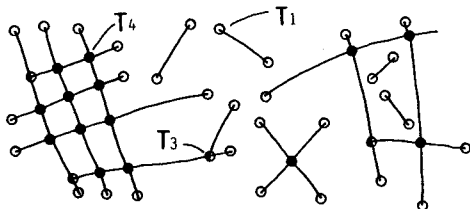


図-2 割れ目分布に偏りがある場合の模式図

連続性が評価しうることになる。この連続性評価を、AVTD法で設定した走査線上の多くの点で行なうことにより、場所的な連続性分布を表現することができる。前回の報告²⁾では、この方法を古生層堆積岩に適用し、岩盤の連続性、不均質性を良く評価しうることを示した。今回は、本手法を火山岩類の分布する地域に適用した例を報告する。

2. 実際岩盤への適用例

今回、調査対象とした地域は、栃木県藤原町竜王峡付近の河岸である。本地域は中新世火山岩類より成り、岩盤がほぼ連続的に露出している。調査ルートは河に沿って設定し、ルート中に19の計測点を設定した。図-3に調査ルート、計測点、おおまかな地質区分を示す。各計測点では約2～3 m²の区域を設定し、各点で約50個の割れ目方向を計測した。計測では、長さ数cmの小さなものを除き、すべての割れ目を対象とした。しかしながら、岩盤表面が水平に近いことが多く、低角度の割れ目を多少見落したこともあると思われる。したがって、以下示す図では、高角割れ目の性質が、やや強調されている点もあると考えられる。また、各計測点の区域が狭いこともあって、ここで対象としている割れ目は、いわゆる節理的なものであり、大断層などは除いている。図-4に、調査ルートに沿って得られた(a) AVTD図、(b) 連続性パラメーターPb (1-3), Pb (3-4)、Pbの分布図を示す。調査ルートはやや曲がっているものの

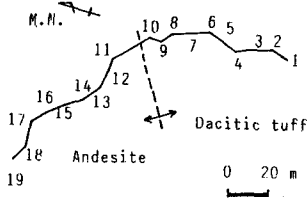


図-3 調査ルート

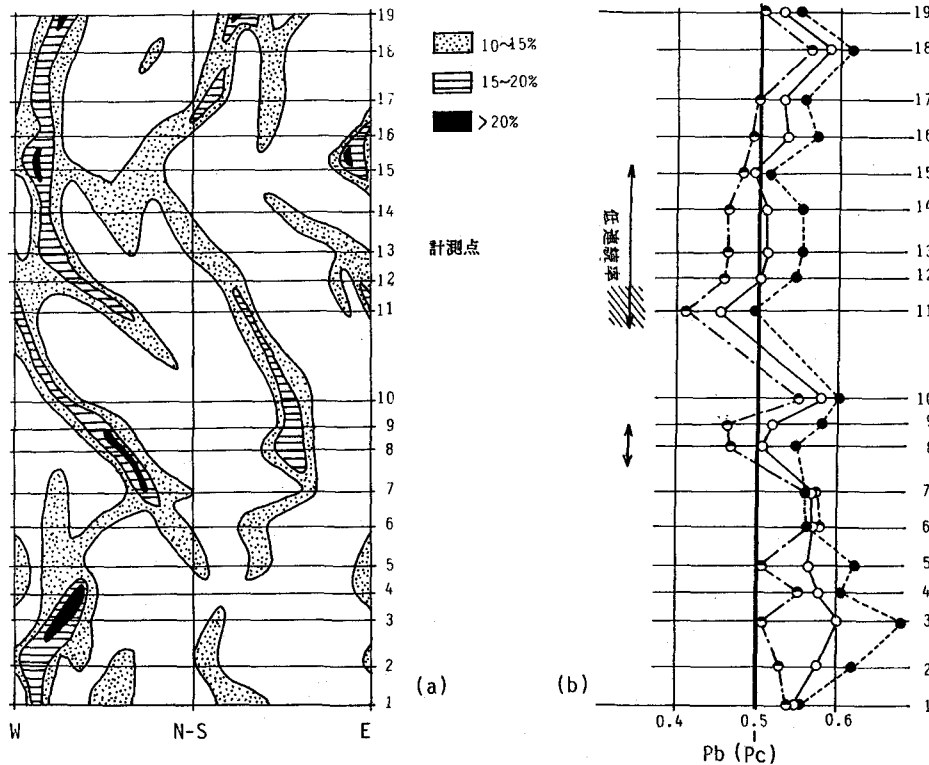


図-4 調査ルートにおける (a) AVTD図、(b) 連続性パラメーターPbの変化図

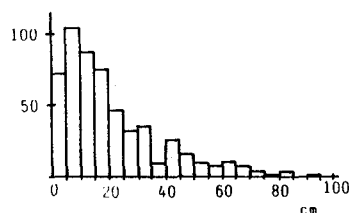


図-5 卓越割れ目間隔分布

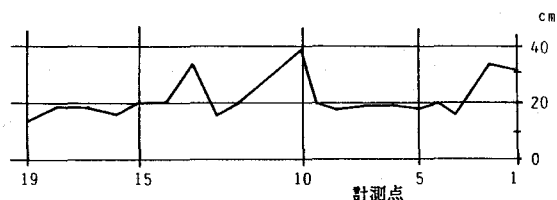


図-6 各計測点における卓越割れ目平均間隔

ほぼ1つの方向での変化をあらわすものと考えて良い。このAVTD図をつくるにあたって、まず、各点での全走向値を、E-W直線上にプロットし、線上の任意点を中心に 10° の領域内に入る走向数を、その点における全測定数で除し、走向分布を描く。さらに各点の分布をつないで場所的な変化を表現する。AVTD図によって、走向変化パターンをたやすく把握しうる。

まずAVTD図より、割れ目走向分布が場所的に大きく変化し、全体的には、調査ルート上で約100mの波長をもって周期的に変化しているようにみえる。これは、Wiseらの示した、oscillating patternに属するといえる。もちろん、割れ目系の性質が、走向だけでどこまで表現しうるのは問題の残るところであるが、この図を見る限り本調査域の岩盤は、ほぼ100m程度の周期で性質が異なるということができよう。つぎに、連続性パラメータの変化図をみってみる。 $\overline{Pb}$ と限界確率 Pc (0.5)との比較から、図中の矢印で示した部分、とくにその中の斜線部分で連続性が悪いことがわかる。他の部分はいずれも、 Pb 値が Pc 値を超え、連続性は良いといえる。また、 Pb (1-3)と Pb (3-4)との比較から、計測点6, 7以外では、 Pb (3-4)が Pb (1-3)よりかなり大きくなっている。このことは全体に割れ目が、たとえば図-2に示したように偏在していることを示す。計測点6, 7では、 Pb (1-3), Pb (3-4)がほぼ同じ値となっており、浸透過程に従った平均的な分布であるといえる。

さらに今回の計測では、卓越方向割れ目の間隔を調べた。図-5は、総数524個の間隔分布である。また、図-6は、各計測点における平均間隔である。図-6から、卓越方向割れ目間隔は、平均的に20cm程度であることがわかる。

次に生ずる問題は、このように計測された岩盤割れ目系に生ずる物理現象（浸透流、変形など）をどのように予測するかである。その1つの方法は、従来から行なわれているように、割れ目系のモデルをつくり、数値的に現象をシミュレーションすることである。このためには、計測データに基づいて、いかにモデルをつくるかが問題となる。本論文では、とくに連続性に基礎をおいたモデル化法について述べる。

3. 連続性に基づく2次元岩盤割れ目系のモデル化と今後の問題

浸透過程においては、まず図-7 (a) に示すような基本ネットワークを考える。このネットワークは、多くの site と、各々の site から伸びる bond より成っている。

各 site から伸びる bond の数は一定（この場合4）である。bond の存在が、確率 Pb で決定された時、いくつかの site が相互に連なるかを評価することが、本論文で用いた手法の基本的考え方である。したがってモデル化においては、まず最初に、基本ネットワークを歪ませ、実際の割れ目系に近づけることが問題となる。図中 (b) は、歪ませたネットワークの例を

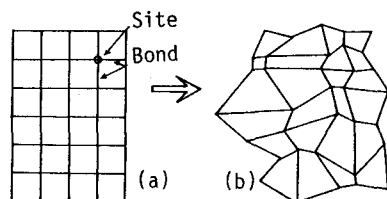


図-7 基本ネットワークの変形

示している。基本ネットワークも、変形したネットワークも、浸透過程の観点からすると、同一のネットワークである。この変形は、実測の割れ目方向（水平割れ目系ならば走向、断面ならばみかけの傾斜）分布と、割れ目間隔分布を用いて行なえば良い。図-8（a）にその手順例を示す。ネットワークの変形は、図中1より番号順に bond（四角形の辺）を伸ばし、四角形を次々につくってゆくことにより行なう。各 bond の方向は、実測の方向分布に基づいて、また長さは、たとえば卓越方向間隔に基づいてモンテカルロ法により定めれば良い。た

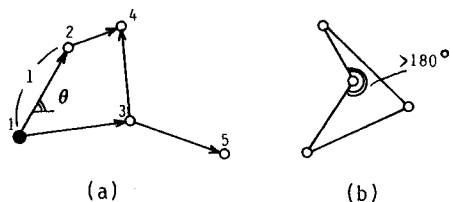


図-8 変形手順（a）と禁止する形態（b）

だ、四角形がつくれねばならないから、3辺が決定されれば、残りの辺は自動的に決定されるものとする。また、図中（b）のように、1つの内角が 180° を越えるものは禁止する。

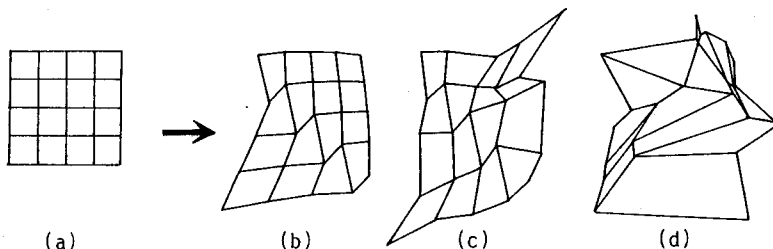


図-9 基本ネットワーク（a）の変形例

このような方法でつくられた変形ネットワークの例を図-9に示す。図では、（a）の基本ネットワークを（b）、（c）、（d）に変形している。

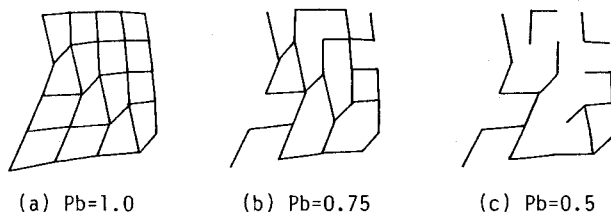


図-10 Pbの変化による割れ目系の変化（図-9（b））

（b）、（c）は、各 bond 長が、1つの長さを中心に狭い

範囲の一樣乱数で決定され、交わる2つの bond 方向が、垂直、水平に近いとした場合である。（d）は、方向、長さ共に、かなり自由に選定した場合である。

さらに、浸透過程では、存在確率Pbによって、存在する bond が決定される。この確率は、実測で得られた確率パラメーター $\overline{Pb}$ とすれば良い。図-10は、図-9（b）を例にとり、Pbの減少によって、存在 bond がどのように少なくなるかを示した例である。これらが、実際の割れ目系に対応することになる。

以上、2次元岩盤割れ目系の連続性と場所的不均質性の調査例と、連続性を基礎とした割れ目系のモデル化について示した。岩盤中の地下水流れや、物質移動の問題では、割れ目の連続性や場所的不均質性が大変重要となり、これらの調査とモデル化において、基本的といえ、本論で示した手法の実用性は高いと考える。今後、モデル中の浸透現象などを数値シミュレーションし、割れ目方向分布や存在確率の影響を調べてゆきたい。

参考文献

- 1) Long, J. C. S., et al. (1982), W. R. R., vol. 18, PP. 645-658.
- 2) 渡辺邦夫 (1985), 日本応用地質学会研究発表会予稿集, PP. 36-39.
- 3) 渡辺邦夫 (1981), 応用地質, vol. 22, PP. 269-275.
- 4) Watanabe, K. (1984), 5th Int. Conf. Numr. Methods, Geomech. PP. 555-559.
- 5) Wise, D. V. & Mc-Crory, T. A. (1982), Geol. Soc. Ammr. Bull., vol. 93, pp. 889-897.

- (28) Evaluation and modelling techniques of the continuity and the ununiformity in two dimensional fracture system based on the percolation process theory and the AVTD plots

Kunio Watanabe*

Koji Ishiyama**

Abstract

Fractures are not uniformly distributed even in a small rock mass and the system of fractures changes its geometric properties such as continuity and orientation from place to place in a large rock mass. The ununiformity, the continuity and the orientation of fractures play a very important role in the transportation of pollutants as well as groundwater in rock mass.

In this paper, the present authors at first report about a new technique based on the percolation process theory, that enables to easily evaluate the local change of the continuity and the ununiformity along a traverse line drawn on a rock surface. These properties are evaluated from ratios among measured numbers of four types of connected point between two fractures in system. On the one hand, the local change of orientation of the system along the same traverse line is represented by the use of the azimuth versus traverse distance (AVTD) plots which was recently proposed by Wise and McCrory. It is clearly found that the geometric change in fracture system can be well evaluated by the use of these techniques.

After the modelling technique that can simulate the continuity in any fracture system is proposed with an assumption that the actual system is well approximated by a network following the percolation process. The model constructed through this technique seems to be suitable for the numerical experiment of the pollutant transportation.

* Associate Professor, Faculty of Engineering, Saitama University.

** Graduate Student, Faculty of Engineering, Saitama University.