

(74) 割れ目系中の水みち

——モデリングの一例

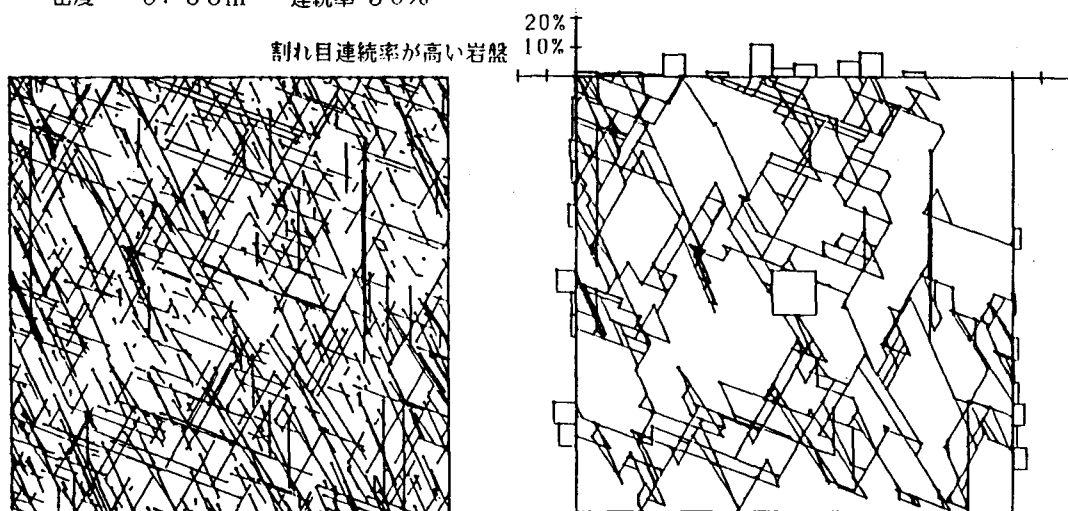
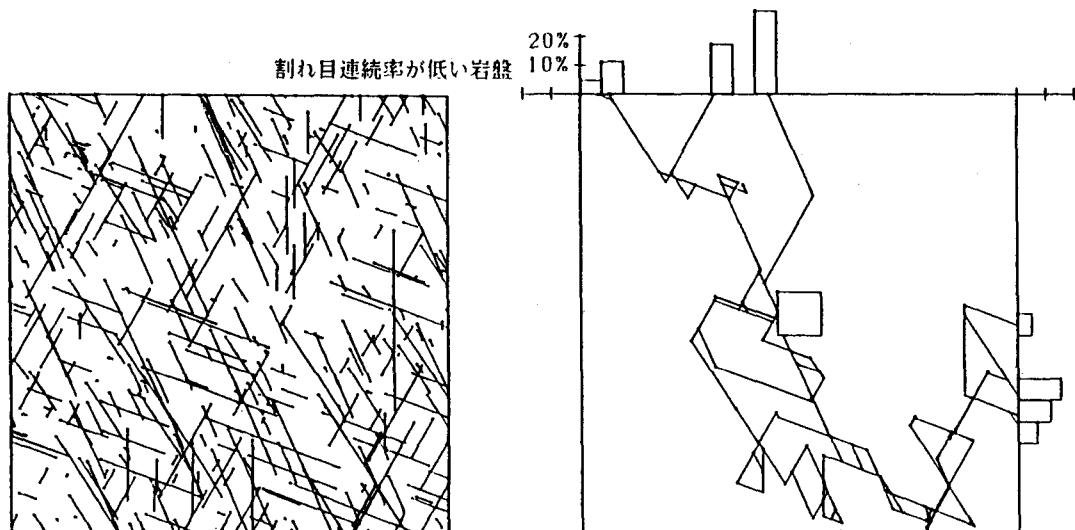
東京大学工学部 西村 毅
同 小島 圭二

はじめに

岩盤中では、地下水は主として割れ目に沿って流れるが、総ての割れ目を一様に流れるのではなく、ある特定の水みちが存在すると考えられる場合がしばしば認められる。ここでは割れ目系ネットワークモデルを用いて、割れ目密度や割れ目の連続性などの要因が水みちを形成する可能性についての解析をおこなった。

1. 割れ目系モデルの作成方法

割れ目系モデルの作成に当たり、割れ目の方向性、密度、長さの把握が必要となる。



割れ目の位置は、モデル岩盤中の任意の場所に存在するとした。方向性については、現地での割れ目計測データをステレオネットなどで処理することにより、いくつかの卓越方向と、それぞれの出現頻度が求められる。また、割れ目の長さの分布は、次式で表される負の指数分布に従うとした。

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

図-1～2 は、このようにして作成した割れ目ネットワークモデルの一例である。これらは、ある花こう岩地域の割れ目系のデータに基いて作成されたもので、一辺が 50m の南北方向の鉛直断面を表している。平均割れ目長さは 5m としてある。割れ目密度は、図-1 A で 0.68 m^{-1} 、図-2 A で 1.37 m^{-1} である。

2. 割れ目系の連続性

割れ目の連続性は、岩盤の透水性に影響を与える大きな要因である。ここでは、割れ目系岩盤の中央に地下空洞を考え、領域内の割れ目のうち中央の空洞から外側の境界までつながっているものを、連続した割れ目とした。そして、このときに連続している割れ目群の合計の長さを、領域内の総ての割れ目の長さで割ったものを、連続率と定義した。連続率は、密度がある点を越えると急激に増加することが知られている(小島他 1985 など)。図-1 B, 2 Bは、図-1 A, 2 Aの割れ目モデルを処理して、連続割れ目だけを取り出したものであり、連続率はそれぞれ、約 28% と 54% である。図-1 Aは、連続率が低く、図-1 Bと比較して、明らかに特定の水みちが形成されていることが予測される。実際の岩盤では、図-1 は、ある規模以上の断層破碎帯の分布に対応する。図-2 A程度に連続率が増加すると、図-2 Bのように、割れ目の密集部分と、そうでない部分とが全域に形成される。これは、節理が密集した部分が、全体としては連続している、割れ目密集体モデルとでもいふべきパターンに相当する。

3. 線要素を用いた数値解析

3. 1 解析手法：割れ目系モデルの透水性を明らかにするために、図-1 A, Bおよび図-2 A, Bそれぞれの割れ目を、そのまま線要素として、FEM による数値解析をおこなった。簡単のために、定常状態を仮定し、割れ目を開口幅一定の平行平板と考え、層流状態を仮定すれば、流速 V は、次式で表される。

$$V = K \cdot dh/dx$$

ただし、 k ：割れ目方向の透水係数、 h ：全水頭、 x ：割れ目方向の局所座標

割れ目の透水係数は総て一定、境界条件として解析領域の両側面は静水圧とし、水面は固定、底部は重力方向の流れが無いとした(図-3)。

3. 2 解析結果：図-4 は、線要素を用いた割れ目モデルの解析結果と比較するために、全体を等方均質体と仮定した二次元平面モデルの FEM 解析の結果を示したものである。また、割れ目密度分布および数値解析の結果を、濃度分布で示したものが、図-5～6 である。

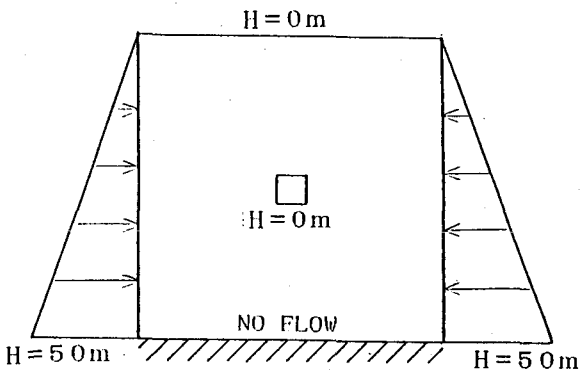


図-3 境界条件

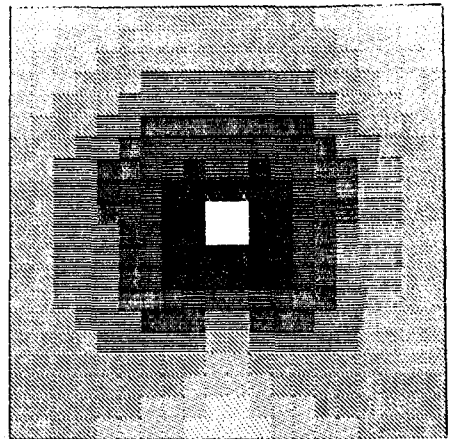


図-4 等方均質モデルのFEM解析結果

割れ目密度分布では、全体を 20×20 の要素に分け、要素毎の割れ目密度を示してある。流入量分布でも同様の要素に分けて、要素内への流入量の分布を示してある。

図-5と6のA,Bは、それぞれ図-1と2のA,Bに対応した割れ目密度分布図である。図-1 A程度の低い連続性の割れ目では、図-1 Aの岩盤中に存在する全割れ目の密度分布から、図-5 Bの、連続した割れ目のみのそれを予測することは困難である。これは水みちの形成が割れ目の連続性の影響を強く受けているため、総ての割れ目から判断される、割れ目密集帯が、そのまま透水帯とはなっていないことを示している。しかし図-6のAとBのパターンは比較的似かよっており、ある程度連続率が高いと、密集帯がそのまま透水帯となり易いことを示唆している。

図-4と図-5,6のC,Dとを比較すると、割れ目系岩盤での流れの様子が、等方均質体とはかけ離れたものであることがわかる。図-5,6のCは各要素毎の流入量の絶対値の分布を示したものである。図-5 Cでは、特定の水みちを通して、流れが中央の空洞に向かって集中してゆく様子がよくわかる。同様なことが図-6 Cでもいえるが、流れが集中した後に分散してゆく部分もあり、流れの形態は複雑である。なお周辺岩盤からこの系への流入の状況(位置と量)は、図-1と2のBにヒストグラムで示した。

図-5,6のDは、線要素モデルによる流入量を、均質等方モデルのそれで割ったものである。これは、均質等方体と比較したときの局所的な流量の大小を濃度パターンで示したものである。

割れ目連続率が低い岩盤

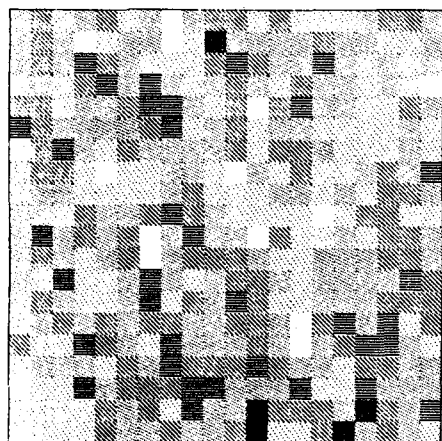


図-5. A 割れ目密度分布(全割れ目)

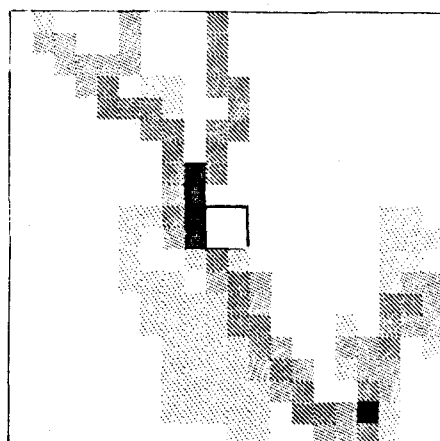


図-5. C 流入量分布(絶対量)

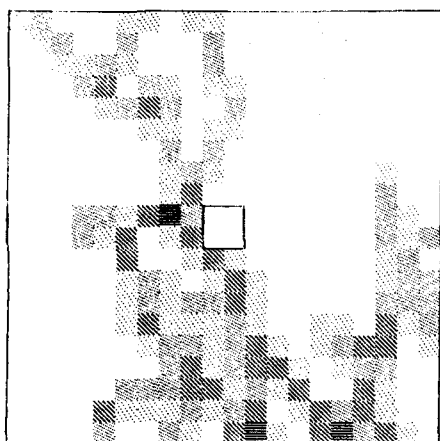


図-5. B 割れ目密度分布(連続割れ目)

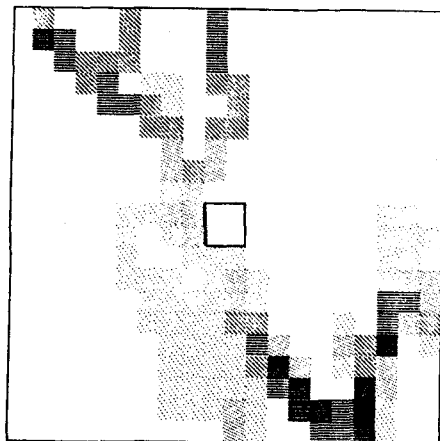


図-5. D 流入量分布(相対量)

空洞への総湧水量というような単純な情報でことが足りる場合はともかくとして、局所的な地下水流れや集中湧水などを考慮する必要がある場合には、断層のような特定の割れ目の連続性、節理系の密集帯(顕著な破碎帯が無くても)の連続性が、重要な要因になることが認められる。

まとめ

割れ目系岩盤における水みちの形成予測に関して、連続率が低い割れ目系(断層モデルに相当)と高い割れ目系(節理密集帯モデル)について、水みちと地下水流れの特徴を示した。ここでは、せいぜい 100m 規模の岩盤を扱っているため、深度方向の透水係数の変化は小さいとして扱ってきたが、我が国のような変動帯の割れ目系では、熱水変質による割れ目面の粘土化がもうひとつ、透水性の不均質性を大きくする要因となっている。このネットを、ここで述べてきたモデルにどう被せるか、対象とする構造物に応じて、ここで示した考え方をどう適用するかの問題とともに、追究を重ねていきたい。

引用文献

- 1)小島圭二、西村 毅(1985) 岩盤割れ目系の確率モデルによる評価、17回岩盤力学シンポ 土木学会
- 2)小島圭二他(1985) 岩盤割れ目系のモデル化と透水性に関する模型実験の方法、東大工総合試験所年報44

割れ目連続率が高い岩盤

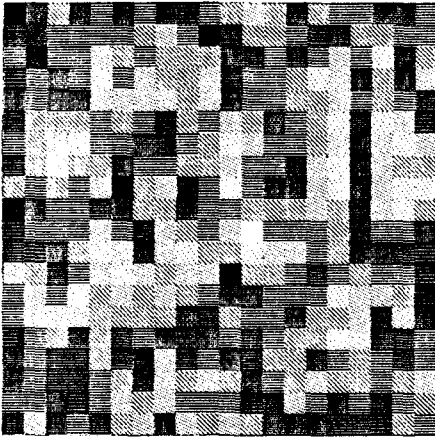


図-6. A 割れ目密度分布(全割れ目)

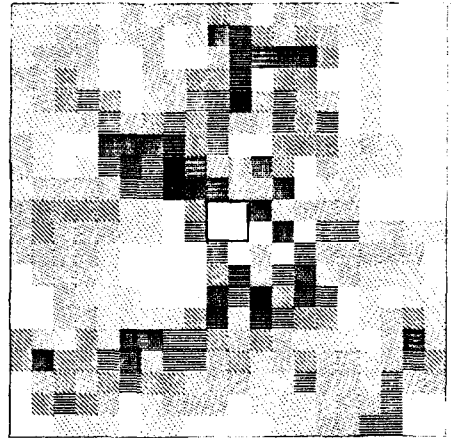


図-6. C 流入量分布(絶対量)

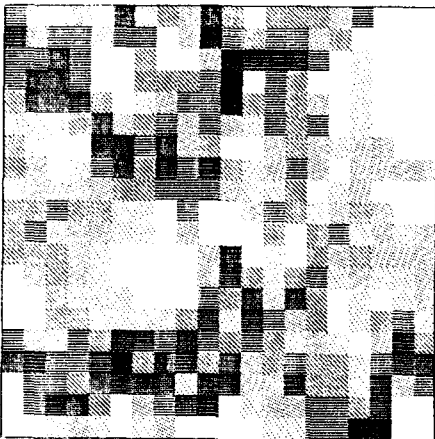


図-6. B 割れ目密度分布(連続割れ目)

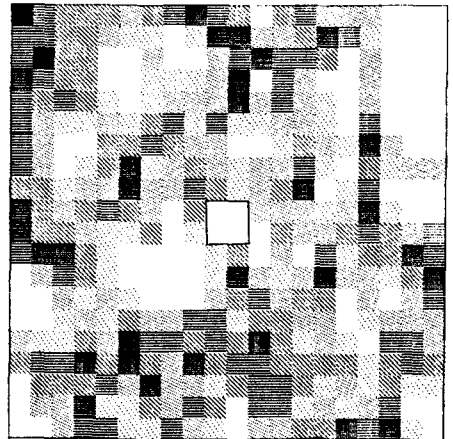


図-6. D 流入量分布(相対量)

(74) FLOW PATHS IN FRACTURE SYSTEM

---SOME EXAMPLES OF MODELING

NISHIMURA Tsuyoshi* and KOJIMA Keiji*

In this paper, followings are visually described for the characteristics of heterogeneous features of groundwater flow in fractured rock.

1. The modeling method of fractures is described at first.
2. The patterns of continuity of fractures or highly fractured zones are illustrated by computer graphics with the actual field data in granitic rock mass.
3. Groundwater flow through these fracture systems is calculated by FEM analysis with linear element, and compared with the flow through homogeneous media.
4. These results are shown on the 2 dimensional cross sections in relation to the fracture systems, especially the fracture density and the continuity.
5. The problems of local heterogeneity of groundwater flow are discussed here for the various purposes of construction and the actual methods of assessment.

* Dept. Mineral Development Eng. The University of Tokyo
Bunkyo-ku Tokyo 113 JAPAN