亀裂ネットワークによる地下水流モデル化のための亀裂長分布デ - タのスケーリング

信州大学工学部	正会員	中屋	眞司
信州大学工学部		塩入	直也
信州大学大学院		近藤	秀憲

1.はじめに

岩盤の透水性を評価するために、岩盤の水理モデルを仮定し、その透水性を決定するアプローチ法がある。 亀裂ネットワークモデル(FNM)はその1つである(例えば、Nakaya et al.(2001)¹⁾)。FNM を構築するた めには亀裂幾何デ-タ(長さ、方位、開口幅など)および亀裂の空間位置デ-タが必要である。従来、亀裂 長分布デ-タ(トレース長(*l*) - 累計頻度(N)分布)にはベキ乗則(N=B・*l*-a)が成立し、フラクタルであると 報告されている(例えば、大野・小島(1992)²⁾;大野・小島(1993)³⁾;井尻他(2000)⁴⁾)。フラクタル次元 a は、 対象領域の規模に依存しない定数であるのに対し、B は規模に依存する。したがって、亀裂長分布デ-タは 規模に依存する。目的の領域の規模の B あるいは最大亀裂長 Lmax を得ることは一般に困難である。

一方、亀裂密度および亀裂から決まる間隙率が空間的相関構造を有しているとの報告がある(例えば、中 屋他(1996)⁵⁾,Tavchandjian et al.(1997)⁶⁾)。もし、亀裂(形態)分布がフラクタルである(例えば、 Hirata(1989)⁷⁾)ならば、領域の規模が大きくなるにしたがい、空間的相関長が大きくなると予想される。

本研究では、亀裂長分布デ-タのスケーリングを得るために、数 cm の岩石片に見られるクラックから 100km の領域に現れた活断層に至る広い規模の領域の亀裂を面サンプリングし、亀裂密度および亀裂から決 まる間隙率の空間的相関長(おのおの R_d, R_pとする)と亀裂長分布の関係を調べた。その結果、R_dおよび R_p と L_{max} との間に線形関係が認められたので以下に報告する。

2. 自然亀裂のサンプリングと統計

研究に用いた亀裂デ - タは、岩石片や露頭、活断層図、地震(余震)カタログデ - タのマッピングで得られた 10 箇所の面デ - タ(正方形領域)で、各々の亀裂は直線としてトレースした。図-1 は得られた亀裂トレース長(I)分布を示している。同図では、各々の領域の亀裂トレース長分布を、単位面積当たりの亀裂数が同じになるようにスケールして示している。亀裂トレース長分布にはベキ乗則が成立し、フラクタルである。 表-1 に各サンプルの領域の規模と a, L_{max}を示す。a と L_{max}は各々、N=B·*I* -a 関係を両対数で表わしたときの回帰直線の傾きと N=1 との交点の*I* と定義される。

<u>3. 亀裂密度および亀裂から決まる間隙率の空間的相関構造の解析</u>

対象領域の亀裂トレース図から亀裂密度(ρ)および間隙率(n_f)の空間的相関構造を解析するために、まず、 正方形領域を正方格子に分割し、各ブロックの ρ と n_f を以下の式から計算した。 ρ = Σ l'_i/S...(1), n_f = Σ l'_i・ t_i /S... (2) ここで、l'_i: ブロックで切られる亀裂トレース長、S:各ブロックの面積、 t_i : 亀裂幅(t=C・1; C=1.0x10⁻⁵) とする。正方形領域の一辺の分割数は、50,64,80,100 の 4 通りとした。次に、各ブロックの位置と ρ あるいは n_f から全方向セミバリオグラム(h)-h 関係を式(3)を用いて計算した。最後に、(h)-h 関係が式(4)の指数関 数バリオグラムモデルと最もよく一致するモデルパラメータのレンジ(R),シル(s),ナゲット(u)を最小二乗 法で決定した。得られた ρ と n_f のレンジを各々、R_d, R_pとする。ここでは、レンジを相関長と呼ぶ。

(h) = $\frac{1}{2 n (h)} \int_{i=1}^{n (h)} \int_{j=1}^{n (h)} (W_i - W_j)^2 \cdots (3),$ (h)= u+g{1-exp(-3h/R)}; h < R, h=R,

(h)=s;h>R ・・・・(4) ここに、n(h):データ間距離hの測点ペア数、W:ブロックの物性値、g=s-u
キ-ワ-ド:透水、亀裂長分布、フラクタル、ネットワークモデル、空間的相関構造
連絡先(住所:〒380-8553 長野市若里 4-17-1、電話:(026)269-5316、FAX:(026)223-4480)

-514-

図-2 と図-3 は各々、 R_d , R_p と L_{max} との関係を示している。両者に線形関係が認められる。

4. 亀裂長分布についての考察

種々の岩盤および規模に関係なく亀裂トレース長分布はベキ乗則で表わされ、フラクタルである。しかし、 フラクタル次元 a はおよそ 1.0~2.7 の広い範囲にあり、岩種や規模、亀裂の形態や年齢、応力場に影響を受 けている。 a がおよそ 1.0 である地震亀裂は最近のおよそ 15 年間の M>1 の地震を対象とている。同じよう な応力場にある活断層は第四紀以降、亀裂の合体、成長を繰り返している。そのため、a が大きくなったも のと考える。また、亀裂長分布がフラクタルであるならば、a と L_{max} が決まれば分布を特定できる。a は露 頭の亀裂デ - タから得られる。ここで見出した R_d, R_p と L_{max}の線形関係が一般の岩盤亀裂に拡張できるな らば、試掘孔と交わる亀裂デ - タを利用して R_d, R_pを決定し、図-2,3 から L_{max} が推定できると考えている。 <u>参考文献</u> 1)10th IACMAG, 1801-1804, 2001. 2)応用地質,33(3), 11-24, 1992. 3) 応用地質,34(2), 12-26, 1993. 4)第 35 回地盤工学研究発表会講演集,63-64, 2000. 5) 第 31 回地盤工学研究発表会講演集, 2139-2140, 1996. 6)Tectonophysics, 269, 51-63, 1997. 7) PAGEOPH, 131(1/2), 157-170, 1989.

表-1 亀裂デ - タの統計値

サンプル	領域規模	а	L _{max} (m)	
花崗岩	6.5 cm	2.02	0.053	
砂岩 1	7.0 cm	2.34	0.0337	
安山岩	1.5 m	2.21	0.874	
緑色凝灰岩	6.0 m	1.59	6.65	
砂岩 2	10 m	2.42	7.25	
地震(神戸)	2.0 km	1.01	2778	
地震(鳥取)	3.0 km	0.98	3626	
活断層(長野)) 50 km	2.74	9490	
活断層(長野)) 50 km	2.69	12513	
活断層(長野)) 100 km	2.60	19738	
a:亀裂トレース長分布(N=B・ <i>l</i> -a)のフラ				
クタル次元、L _{max} :(N=B・ <i>l</i> -aの N=1 にお				
+ろ 1)				



図-1 亀裂トレース長分布(単位面積当たりの亀裂数が 同じになるようにスケールして示している)







