

バイナリーフラクタル亀裂ネットワークモデルの提案

信州大学工学部 正 中屋 眞司
 (株)土木管理総合試験所 吉田 達哉
 木曽広域連合消防本部 瀬脇 新

1. はじめに

亀裂系岩盤中の流体は亀裂ネットワークを主な経路として移動する。流体の移動を評価する場合に最も重要なことは、そもそも対象領域内を流体が移動するのか、それをどのようにして予測するのかという問題に答えられるかであろう。そこで、岩盤の透水性評価の初期アプローチとして、領域内の亀裂ネットワークが互いにつながってパ - コレ - ションクラスタ - が形成されているか調べる簡単な方法が必要である。

最近、亀裂の位置や大きさの分布がフラクタル（自己相似性）であることが測定からわかってきた。フラクタルというのは、例えば、視野をどんどん拡大しても、あるいは反対にどんどん縮小しても、現れる亀裂の分布やパターンが変わらない性質、特徴的な長さのないスケールフリーな性質を言う。多くの場合、亀裂の位置や大きさの分布のフラクタル性は、野外の露頭やトンネル壁面など二次元平面に現れた亀裂のトレースデータから測定が試みられている。また、地震の震源を亀裂（断層）の中心位置とすると、その空間分布についてはフラクタルであることは多くの報告がある（例えば、Nakaya and Hashimoto, 2002）¹⁾。地震の規模別頻度分布はゲーテンベルグ-リヒター則にしたがっており、それは亀裂（断層）の大きさ分布のフラクタル性を表している²⁾。ほとんどの場合、亀裂の分布は位置と大きさについて同時にフラクタルである。その性質のことを Nakaya et al.(2003)はバイナリーフラクタルモデルと呼んだ³⁾。

本研究では、バイナリーフラクタルモデルに従う二次元のランダムな亀裂ネットワーク（バイナリーフラクタル亀裂ネットワークモデル：BFFN モデル）の作成方法について述べる。この BFFN モデルから臨界パ - コレ - ションクラスタ - を形成するフラクタルパラメータの組み合わせが評価できるであろう。

2. 方法

亀裂の位置分布と大きさ分布のフラクタル次元を各々、 D と a とする。また、領域を $L \times L$ の大きさを持つ正方形とし、領域内の最大亀裂長を l_{\max} とする。まず、 D に従うフラクタルな亀裂の位置を発生する手順について示す。図-1(a)に示すように、正方形領域の一边の長さを $1/2$ に分割する。この過程を k 回 ($k=1, 2, 3, \dots, m$) 繰り返すと、一边が $(1/2)^k \cdot L$ の正方形ボックスが 2^{2k} 個発生する。中心点の分布が D に従うためには 2^{2k} 個のボックスのうち 2^{Dk} 個のボックスの中に亀裂の中心点があればよい。つまり、 2^{2k} 個のボックスから 2^{Dk} 個のボックスをランダムに選択すればよい。ただし、 k 回目のボックス選択は $k-1$ 回目を選択されたボックスに限られる。このようにして選択したボックスの空間分布のフラクタル次元は丸め誤差の範囲で D に一致する。この手順は $k=1 \sim m$ 回まで繰り返される。第二ステップは $k=m$ で選択された全てのボックスの中心を亀裂中心点として長さ l_i 、方位 θ_i を持つ 2^{Dm} 個の亀裂を発生させる。 l_i は a と l_{\max} で定義されるフラクタル性にしたがって、長い順にランダムに発生される。また、 θ_i は 3 次元空間では一般にフィsher - 分布 (spherical normal) に従う。2 次元では、正規分布が適当であろう。なお、各亀裂は相互作用をしないと仮定し、相互に交差するものとする。

3. 結果

BFFN モデルに従って発生した亀裂ネットワークの例を図-2 に示す。亀裂は 2 セットの亀裂群からなり、セット 1 は $\theta=90$ 度を中心とする標準偏差 7.5 度の正規分布、セット 2 は $\theta=180$ 度を中心とする標準偏差 7.5 度の正規分布とした。また、 $m=6$ とした。図-3 にパーコレーション確率 P のコンタクトを $D-a$ グラフ上に

キーワード：亀裂，岩盤，フラクタル，パ - コレ - ション

連絡先（住所：長野市若里 4-17-1 信州大学工学部，電話：(026) 269-5316，FAX：(026) 223-4480）

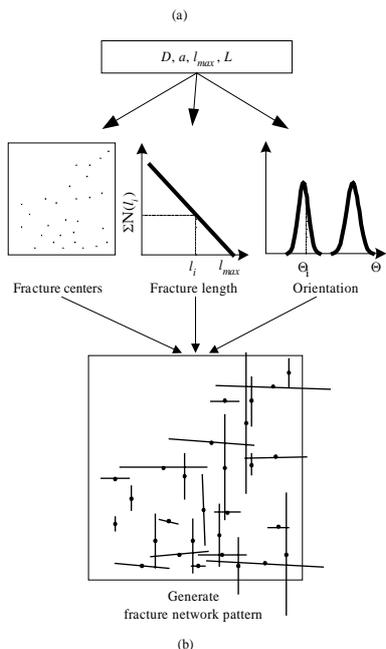
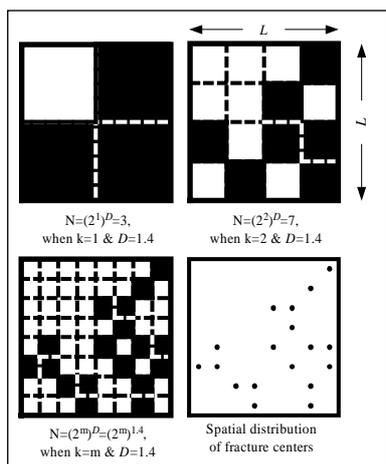


図-1 バイナリーフラクタル亀裂ネットワークモデル(BFFN モデル)の発生方法. (a) 亀裂中心点フラクタル分布の発生のためのボックス分割, (b) 亀裂ネットワークパターンの発生手順

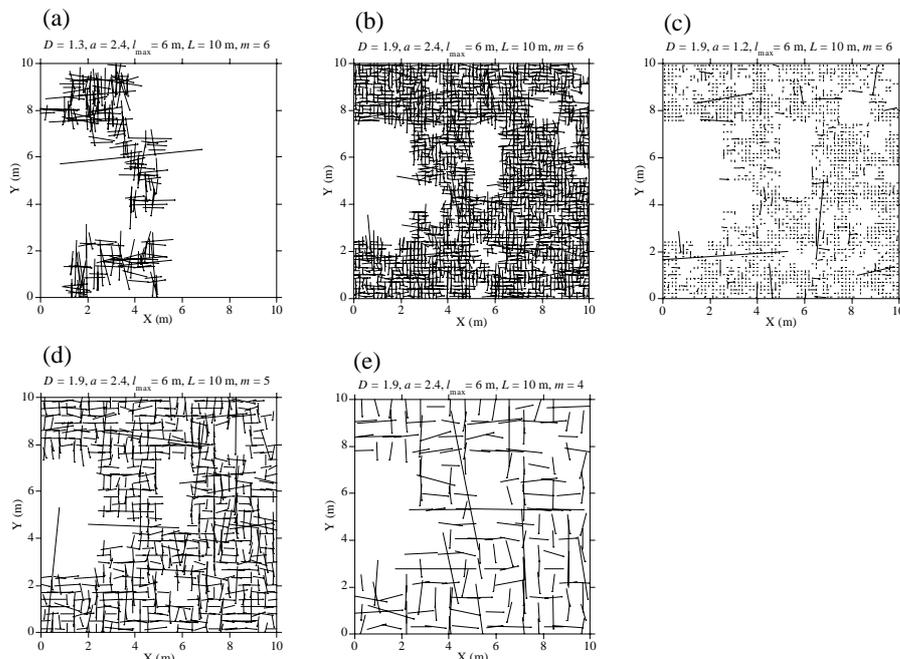


図-2 バイナリーフラクタル亀裂ネットワークモデル(BFFN モデル)の例.

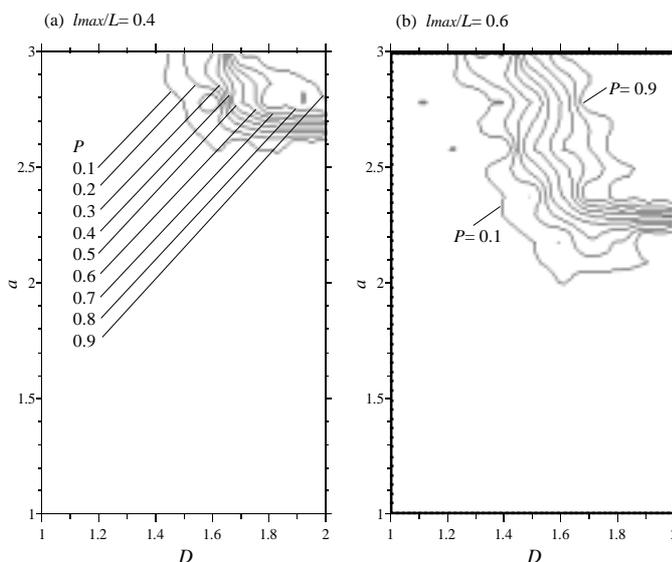


図-3 パ - コレ - ション確率 P のコンタ . . (a) $l_{max}/L=0.4$, (b) $l_{max}/L=0.6$

示す。P=0.5 がパーコレーション閾値である。P は同じフラクタル・パラメータの組み合わせで発生させた 10 組のランダムな BFFN モデルのうち、パ - コレ - トしている組数の割合である。図からわかるように、パ - コレ - ション閾値は D と a, l_{max}/L のパラメータの組み合わせで大きく変化する。

参考文献

1) Nakaya S. and T. Hashimoto, Temporal variation of multifractal properties of seismicity in the region affected by the mainshock of the October 6, 2000 Western Tottori Prefecture, Japan, earthquake ($M=7.3$), *Geophysical Research Letters*, 29(10), 133-1-4, 2002. 2) Turcotte, D. L., Fractals and Chaos in geology and geophysics: *Cambridge University Press*, 398p, 1997. 3) Nakaya, S., T. Yoshida, and N. Shioiri, Percolation conditions in binary fractal fracture networks: applications to rock fractures, and active and seismogenic faults, *J. Geophysical Research*, 2003 (in press).