

III-382

断層破碎帯のフラクタルモデル

(株)フジタ 正会員 宇田川 義夫

1. はじめに

亀裂性岩盤の力学的・水理学的特性は、その岩盤割れ目系の分布形態に大きく支配されている。特に断層破碎帯の周辺岩盤においては、断層運動の影響による割れ目分布の不均質性が顕著であり、その工学的取扱いが困難となっている。本論文では、この断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系の分布形態を、フラクタル理論の概念の一つであるボックスカウンティング法によるフラクタル次元で定量的に評価し、さらに、それにもとづいた断層破碎帯のフラクタルモデルを提示するものである。

2. 岩盤割れ目系のフラクタル性

フラクタル理論¹⁾は、アメリカの数学者ベノワ・マンデルブロによって提唱された「自己相似性(拡大縮小対称性)」に関する理論である。自然界には海岸線、河川の流路、山の起伏、雲の表面形状、樹木の枝などの、自己相似性を有するフラクタル図形が数多く存在し、岩盤割れ目系もまたフラクタルであるとの報告も数多い。²⁾ただし、自然界に多く存在するフラクタルとは、縮小アフィン変換や非線形変換などで作られるフラクタルとは異なり、全体と部分がだいたい似たような図形となるランダムフラクタルとしての統計的自己相似性を意味している。

また、岩盤割れ目系のフラクタル性が成立すると見なしうるスケール範囲には上下限があり、上限は解析対象範囲の大きさに、下限は最小測定割れ目長さに、それぞれ制約されている(詳細は文献3)参照)。本論文では、断層破碎帯近傍における岩盤割れ目系のフラクタル性を露頭スケール($10^{-1} \sim 10$ m)の範囲内で検討し論じるものである。

3. 断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系のフラクタル分布

図1は、断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系のフラクタル解析事例である。これより、①断層破碎帯に近い箇所ほど岩盤割れ目系のフラクタル次元が高くなっていること、②破碎帯の大きい断層ほど広範囲にフラクタル次元の変化が認められること、などがわかる。また、このフラクタル次元の増大する割合は、図1における回帰直線の勾配の絶対値で与えられ、この値を「フラクタル次元変化率 δ 」と定義すると、 δ は次式で与えられる。

$$\delta = |\Delta D / \Delta L| \quad (1)$$

ここで、 D はフラクタル次元、 L は解析対象領域から断層破碎帯までの距離を示している。

ここで、破碎幅2 mおよび破碎幅1 mの断層破碎帯それぞれのフラクタル次元変化率は $\delta = 0.049 \text{ m}^{-1}$ 、 $\delta = 0.082 \text{ m}^{-1}$ となる。断層破碎帯周辺において割れ目のフラクタル次元が増大することは、構造地質学的には造構応力場の再配分過程の相違としてとらえられる。⁴⁾

4. 断層運動の伸展に伴う岩盤割れ目系のフラクタル次元変化

Tchalenco(1970)による室内実験結果⁵⁾をもとに、断層運動の伸展に伴って割れ目のフラクタル次元がどのように変化するかを解析した。その結果は図2に示すとおり、割れ目(リーデルシア)の形成に伴い、フラクタル次元は $D = 1.136$ から $D = 1.408$ (a～c段階)まで次第に増大していく。その後、割れ目が相互に連結し、断層の萌芽的形成の段階(d、e段階)に至ると、フラクタル次元は $D = 1.418$ 、 $D = 1.452$ となり、

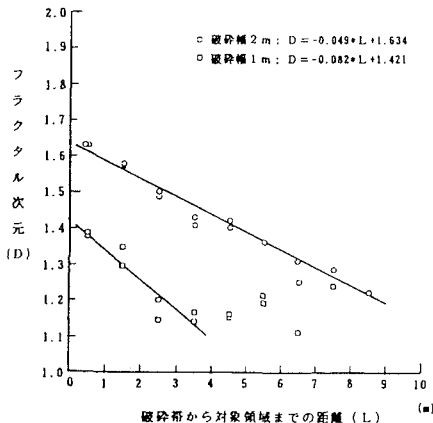


図1 断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系のフラクタル分布⁴⁾

フラクタル次元が一定値に収束するようになる。この収束値は北陸地方・J地点（安山岩）での断層破碎帯末端部におけるフラクタル解析結果（フラクタル次元 $D \geq 1.4$ ）⁶⁾とよく一致している。

5. 断層破碎帯のフラクタルモデル

以上のことから、「断層運動の伸展過程において、断層の萌芽的形成に至るまでは割れ目系のフラクタル次元は増大していき、その結果として、断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系のフラクタル次元は断層に近づくほど増大するような傾向を示す」といえる。また、断層の萌芽的形成の後には、割れ目の相互連結による岩盤のブロック化（岩石が岩塊に分離する過程を仮にこう呼ぶことにする）、ブロックのローテーション、ブロックの碎片化、断層ガウジの形成といった過程をたどり、断層ガウジ内部のフラクタル次元は2（解析断面の位相次元）に近づいていくものと考えられる。このフラクタルモデルを図式化したものが図3である。

6. まとめ

本論文では、断層破碎帯周辺における岩盤割れ目系のフラクタル分布と、断層運動の伸展に伴う割れ目系のフラクタル次元変化という両側面から考察し、これらにもとづき断層破碎帯のフラクタルモデルを提示した。今後は、さらに実岩盤のデータの集積によって、このモデルの適用性ならびに力学的・水理学的特性との相関性について検討していきたいと考えている。

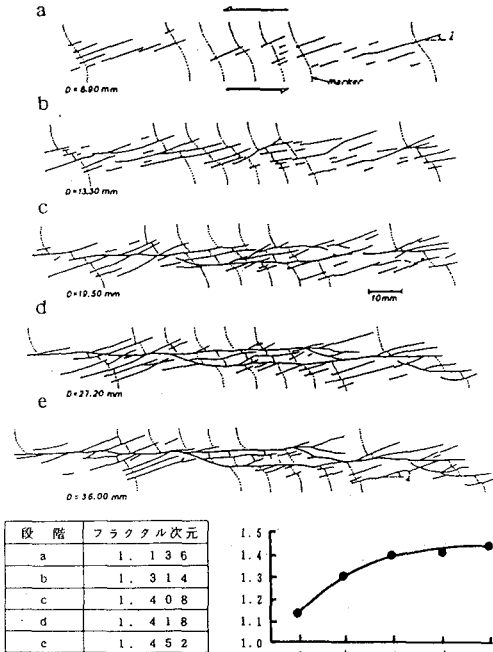


図2 Tchalenco(1970)による室内実験結果⁵⁾とそのフラクタル次元変化

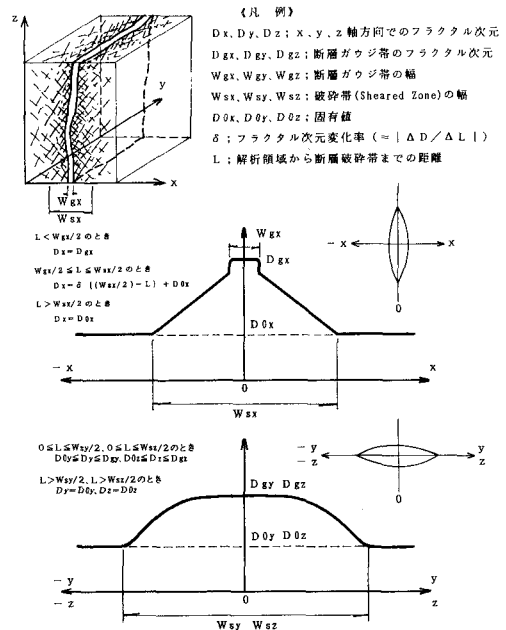


図3 断層破碎帯のフラクタルモデル

【参考文献】

- 1) Mandelbrot, B. B.: The fractal geometry of nature, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982. (広中平祐監訳、フラクタル幾何学、日経サイエンス社)
- 2) 大野博之、小島圭二：岩盤中の割れ目系にみられるフラクタル、応用地質、vol. 29, No. 4, pp11~18, 1988. など
- 3) 宇田川義夫：岩盤割れ目系のフラクタル特性による岩盤の不均質性評価に関する検討、ダム工学 No. 10, pp20~28, 1993.
- 4) 宇田川義夫：破碎帯周辺における割れ目のフラクタル分布、第27回土質工学研究発表会、pp1319~1320, 1992.
- 5) Tchalenco, J. S.: Similarities between shear zone of different magnitudes, Geological Society of America Bulletin, pp1625~1640, 1970.
- 6) 宇田川義夫：岩盤割れ目系の不均質性に関する構造地質学的考察、第28回土質工学研究発表会、pp1429~1430, 1993.