

不連続面の工学的特性の評価法の提案

長崎大学大学院 学生員○肖 俊 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生員 足立順一 長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦

1.はじめに

地下発電所等大規模地下空洞の設計においてはDDAやDEMなどの不連続体数値解析とそれに基づく情報化施工が行われている。しかしながら、解析結果の信頼性は不連続面の力学的特性に関わると同時に、幾何学的分布特性のモデル化がどれだけ正確に表現できているかに直接依存すると考えられる。著者らはこれまで不連続面の力学的特性の評価について研究を重ねてきたが、本研究では、さらに不連続面の分布特性の影響と評価について、検討を行う。

2.不連続面の分布特性の定量的評価

2.1 ボックスカウティング法

自然岩盤内の不連続面の分布や形状は複雑であり、定量的評価には確率統計学的手法が一般的であるが、その精度は確率関数の設定に支配される。一方、異なるスケールを用いた現場観察の結果から、不連続面の分布性状はフラクタル性を有していることが報告されている¹⁾。より客観的に不連続面の空間分布特性を定量化するために、フラクタル次元が分布特性の特徴づけパラメータとして使われるようになった。

フラクタル図形のフラクタル次元を算出する方法は数多くあるが、ボックスカウティング法は簡便でかつ汎用性が高いため広く用いられている。Falconer(1990)²⁾によれば、ボックスカウティング法によるフラクタル次元 D_{Box} は次式で表れる。

$$D_{Box} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N_{\delta}}{-\log \delta} \quad (1)$$

ここで、 δ は図形を覆う正方形のセルの一辺の長さ、 N_{δ} は図形を重ならないで覆いつくすのに必要なセルの総数である。 D_{Box} は、 $\delta \rightarrow 0$ のときの $\log \delta$ に対する $\log N_{\delta}$ の増加の割合であり、両対数グラフで (δ , N_{δ}) の各プロット点を直線近似したときの直線の傾きの絶対値から求められる。

2.2 フラクタル次元の計算手順

まずは、不連続面のネットマップを、現場調査・計測結果(不連続面のトレース長、間隔、方向、空間位置等)に基づいて作成し、解析図形とする。次に、解析対象の図形はイメージスキャナを用いてデジタル化し、正方形セル(360×360ピクセル)の画像として処理する。さらに、不連続面は幅1ピクセルの細線で表現し、分布のみに関するフラクタル次元を算出する。

3.フラクタル次元と地下空洞の変形挙動との関係

不連続面の分布特性と岩盤変形挙動との関係を明らかにするために、地下発電所の空洞をモデル化することにした。解析対象は、天盤部が地下約160mに位置し、高さ50m、幅25m、弾頭型の地下発電所である(図-1)。地山は新鮮、堅硬な砂岩の弾性体とする。岩盤基質部分と不連続面の物性値を表-1,2に示す。

不連続面の分布について、規則的等間隔な分布と局部集中的ランダムな分布があるが、今回は規則的な不

表-1 空洞周辺地山の物性値

特性	値
密度 ρ (g/cm ³)	2.50
粘着力 c (MPa)	1.00
内部摩擦角 ϕ (deg.)	40.0
ヤング係数 E (GPa)	3.03
ポアソン比 ν	0.17
引張強度 σ_t (GPa)	3.5

表-2 不連続面物性値

特性	値
垂直剛性 Kn (GPa/m)	20.0
せん断剛性 Ks (GPa/m)	0.8
粘着力 c_j (MPa)	0.0
摩擦角 ϕ_j (deg.)	25
引張強度 σ_{tj} (MPa)	0.0

連続面を持つ岩盤を考慮する。不連続面の分布は直交した二組の不連続面群を設定し、一方向が卓越的である。傾き方向は 45° とする。さらに、卓越方向の不連続面群の間隔を変化させ、3パターンを設定した。図-2のようにフラクタル次元はそれぞれ1.017、1.168、1.307と得られた。

次に、個別要素法を用いた掘削解析を行う。解析には岩盤基質部の破壊にはモール・クーロン破壊規準を、不連続面にはクーロン滑りモデルを適用する。図-2は空洞周辺岩盤の挙動を比較したものである。最大変位ベクトルを比べるとフラクタル次元の増大に伴い、約10%まで増加した。ただし、塑性域とフラクタル次元との間に明瞭な相関性が見られなかった。これは、不連続面の傾斜角が 45° と大きく設定し、分布特性によらずすべり破壊が支配的であったためと考えられる。また、規則的分布の場合はランダム分布のような激しい応力集中による破壊は少ないと考えられる。

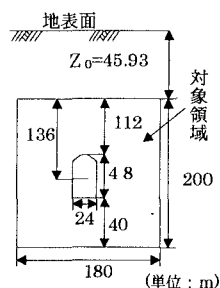
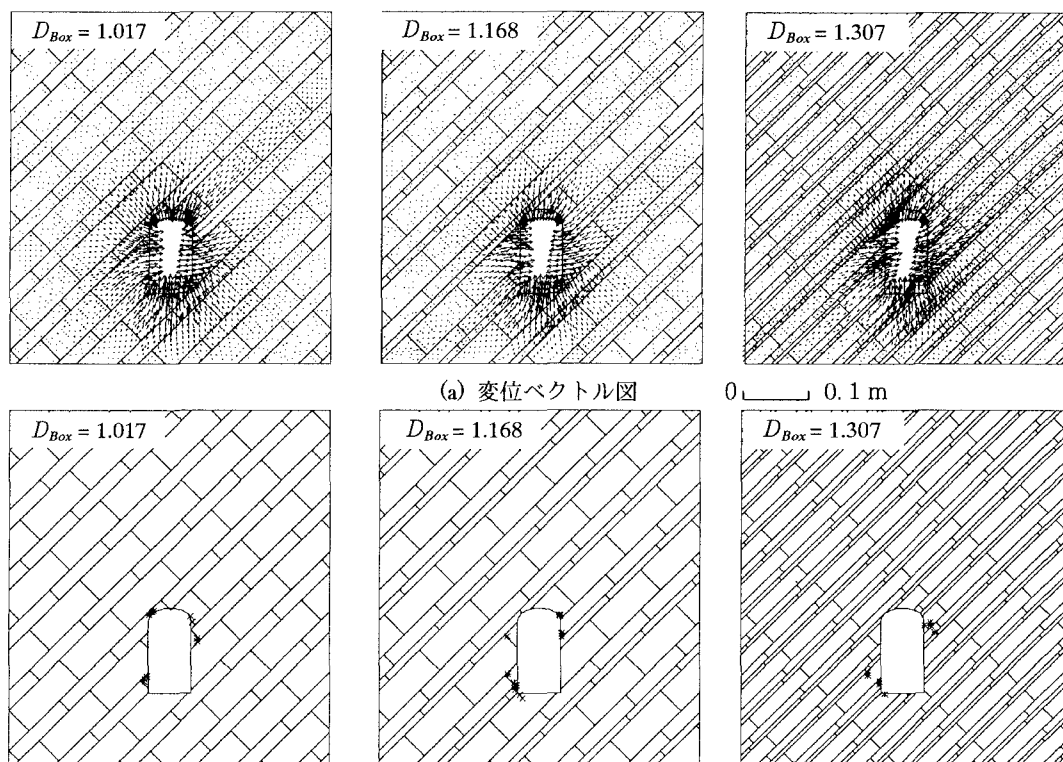


図-1 想定地盤モデル



(b) 周辺地山の破壊挙動（塑性破壊域）

図-2 フラクタル次元と周辺地山の挙動との関係

4. おわりに

不連続面の分布特性について、フラクタル次元を用いた評価法を示し、岩盤内空洞の変形挙動との関係を解析した。今後はさらに、具体的な現場条件に基づくモデル化と解析的評価を続行する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 藤和也・土屋範芳・中塚勝人：ボックスカウンティング法によるフラクタル次元算出システムの開発と解析精度，情報地質，第8巻，第1号 pp.23-30，1997
- 2) Falconer, K.J. : Fractal Geometry, John Wiley and Sons, pp.288, 1990