

III-A 323

破壊面粗度のフラクタル解析による圧裂破壊機構の考察

日本大学大学院 学生会員 ○藤澤 英幸  
 日本大学工学部 正会員 田野 久貴

1. はじめに

本研究は、圧裂引張破壊面の凹凸のフラクタル解析の結果より、この試験下における微視的破壊機構を考察したものである。圧裂下における破壊機構を先在する微視的クラックでモデル化した場合、破壊条件として破壊モードⅠあるいはモードⅠとⅡによるいわゆる混合破壊モードが議論<sup>1)</sup>されている。一方、岩石の組織は不均質であるからその強度や破壊面の性状もばらつくため何らかの定量化が必要である。このような観点から岩石の二三の性質にいくつかのフラクタル次元をすでに適用<sup>2)~4)</sup>しているが、本文では、破壊面にはこれに関連した微視的クラックの情報を含んでいると考えてその凹凸にディバイダー法を用いて検討した。岩石は溶結凝灰岩を使用した。

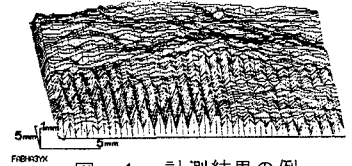


図-1 計測結果の例

2. 測定及び解析方法

測定は、レーザー変位計、XYテーブル及び、パソコンをGP-IBにより接続しフロッピーディスクに記録する自動計測システムを構築した。試料は、白河産溶結凝灰岩を用いた。供試体は、円柱(φ50×40mm)の圧裂引張試験を行い、生じた破壊面の中央に測定領域(25×25mm)を設けたものである。測点は、1測線上0.05mm間隔501測点とし、0.5mm間隔で51測線の凹凸を14個の破壊面について測定した。計測結果の例を図-1に示す。

表-1 繰り返しの精度

繰り返し回数	フラクタル次元	
	平均	変動係数(%)
1	1.0424	0.7437
2	1.0423	0.7414
3	1.0423	0.7372
4	1.0423	0.7373
5	1.0423	0.7353

解析は、ディバイダー法を用いた<sup>5)</sup>。これは粗視化の度合いを変える方法によるもので、測定された凹凸を直径rの円で被覆しその総数N(r)との関係より次元Dを求める。また、フラクタル性の強さは相関係数の大きさで評価することができる。

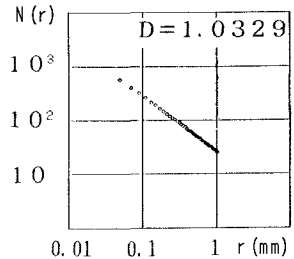


図-2 解析結果の例

レーザー変位計とXYテーブルの精度を含めた総合精度チェックの一つの方法として同一カ所を5回測定しフラクタル解析した。1回の測定終了後原点に自動復帰させ、再び測定を行った。表-1の結果よりフラクタル次元の平均値(51測線の平均値)は小数点以下第四位まで概ね一致していることがわかる。

3. 解析結果

破壊面は、図-2より強い相関が得られフラクタル的な形状であることを示している。この傾きの絶対値よりフラクタル次元Dが得られる。破壊面の凹凸のフラクタル次元が得られたので、次にどのような性質と関連性があるのか検討する。次元が大きいくほど凹凸は激しくなるので、次元の値は破壊面の長さに比例すると考えられる。図-3は、フラクタル次元と境界線長さとの関係の例を示したものであり、強い正の相関が得られた。したがって、フラクタル次元Dが与えられると破壊面の境界線長さが得られる。図-4及び5に1個の面から得られた次元(D)と境界線長さ(L<sub>a</sub>)の分布を示す。フラクタル次元と圧裂引張強度の関係を、図-6に示す。

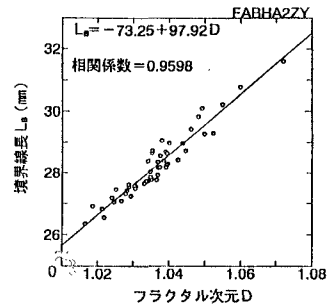


図-3 フラクタル次元と境界線長さの相関の例

負の強い相関が得られ、破壊面形状と圧裂引張強度との間に密接な関係が認められる。

4. 考察及びまとめ

先の実験結果より、次元と強度との間には負の強い相関が認められた。これは、強度の大きな試験片の破壊面はこれの小さな試験片より凹凸が少ないこと意味している。これを図-7に示すようにモデル化して圧裂試験片に先在する微視的クラック先端のK値から考察する。荷重軸上に長さ2cのクラックが軸方向からψ傾斜している場合を考える。先在クラックの先端からθの方向で最大引張応力に達してき裂が発生するとする。モードIとIIの混合モードによる $K_{max}$ は淡路ら<sup>9)</sup>によって与えられており、 $\psi \approx 32^\circ$ において最大となる。一方、 $\psi = 0^\circ$ すなわち先在クラックの長軸が荷重軸と一致している場合は $K_{max} = K_I$ となる。したがって、混合モードのモデルによれば、荷重軸方向に平行な先在クラックを含む試験片のK値はより小さく、その破壊面は凹凸は理想的には平面となる。一方、傾斜したクラックを破壊源とする混合破壊モードの場合はK値がより大きい。すなわち、フラクタル次元と圧裂引張強度は負の相関を示すことになる。なお、破壊面粗度のフラクタル次元には面内の異方性<sup>7)</sup>が認められたが、ここでは触れなかった。

今回の破面の測定及び解析より次の結果が得られた。

- 1) 圧裂引張破壊面の形状はフラクタル的である。
- 2) フラクタル次元と破壊面境界線長さとの間には正の強い相関が得られた。
- 3) フラクタル次元と圧裂引張強度との間には負の強い相関が認められた。
- 4) 上記3)より圧裂における微視的破壊機構は混合モードによる機構が卓越するものと考えられる。

以上より、本研究で用いたフラクタル次元は、微視的クラックの破壊機構やそのモデルを検討する1つの有効な方法と考えられ他の破壊面についても検討している。

参考文献

- 1) 例えば、矢富、藤井 他(1987)：混合モード( $K_I$ 、 $K_{II}$ )下における岩石材料の破壊条件、第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 16-19.
- 2) 田野久貴、渡辺英彦(1995)：フラクタルによる岩石の異方性の定量化とその破壊強度への応用に関する研究(研究代表者：高橋秀明)、クリーン地殻エネルギー抽出法の設計基礎論-フラクタル破壊力学の構築とその応用-、平成6年度研究成果報告書、pp. 66-71.
- 3) 田野久貴(1995)：2種類のフラクタルによる花崗岩異方性の評価と力学特性との相関、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 246-250.
- 4) 田野久貴(1996)：岩石の強度異方性とフラクタル次元との相関に関する研究、日本大学工学部紀要 分類A 工学編、Vol. 37, pp. 9-17.
- 5) 例えば、高安秀樹(1986)：フラクタル、pp.10-11、朝倉書店.
- 6) 淡路英夫、亀井浅道(1971)：き裂を有する円盤を圧縮した場合の Stress Intensity Factorについて(第1報)、日本材料強度学会誌、Vol. 6, No. 3, pp. 100-108.
- 7) 田野久貴、渡辺英彦(1996)：フラクタルによる岩石の異方性の定量化とその破壊強度への応用に関する研究(研究代表者：中塚勝人)、クリーン地殻エネルギー抽出法の設計基礎論-フラクタル破壊力学の構築とその応用-、平成7年度研究成果報告書、pp. 67-72.

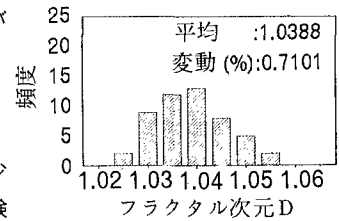


図-4 フラクタル次元の分布の例

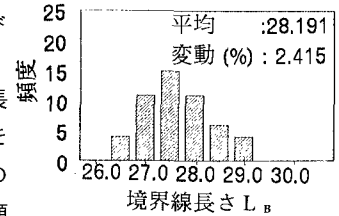


図-5 境界線長さの分布の例

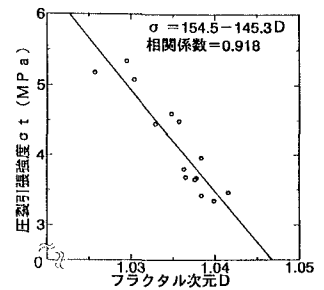


図-6 フラクタル次元と圧裂引張強度の相関

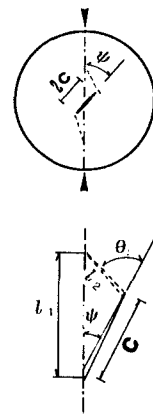


図-7 圧裂引張試験片内のクラックモデル( $K_I$ と $K_{II}$ による混合破壊モード)