

Ⅲ-14

C T 試験片破面のフラクタル解析

日本大学 学生員 ○藤澤英幸
同 上 正員 田野久貴
同 上 正員 渡辺英彦

1 まえがき

本報告は岩石の破壊靱性試験によって生じた破壊面にフラクタル次元を適用し得られた次元と靱性値の関係を検討したものである。岩石のもつ不均質な微視構造のフラクタル次元による定量化の試みについては、すでに二三の報告^{1)・2)}を行っている。破面粗度と強度の関係については、溶結凝灰岩の圧裂引張試験と次元との間に強い負の相関が認められている。今回の破壊靱性値との間にはあまり顕著ではないが、圧裂試験片とは逆に正の相関が認められた。フラクタル次元と破壊面長さはほぼ正比例することを考慮してその微視的破壊モデルを提案している。フラクタル次元は作用応力に非常に敏感であり、微視的破壊の検討に有効であるように思われる。

2 破面粗度のフラクタル次元の意義

微視的組織に依存して岩石の強度等がばらつくとき、しばしばその微視的破壊機構を議論するために、欠陥や空隙等をクラックでモデル化することが試みられる。しかし、破壊面発生には多くのクラックが関与すると考えられ、またこれらのクラックの幾何学的形状は不規則であるため、提案したその幾何学的モデルの妥当性を定量的に検証することが困難であった。例えば「強度のばらつき」は「微視構造のばらつき」であり、その「痕跡あるいは証拠」が破壊面に残されていると考えられる。しかし、この一見不規則な破面を定量化する幾つかの方法が提案されているが、あまり適当とは言えないようである。一方、ここで適用しているディバイダー法によるフラクタル次元は、破壊面粗度の測定にある程度の精度を確保すれば、「次元」の値が物理的には破壊に関与した「クラック長さ」と対応することが報告²⁾されており、次元が材料の力学的挙動と微視的モデルの間のギャップを埋める手法の一つとして期待される。

3. 白河石の破壊靱性試験

岩石ブロックに図1に示すようにXYZ座標を定めた。XY面は堆積面に平行な面で溶結作用をうけており、これを第1面と呼ぶこととする。第2面(XZ面)および第3面(YZ面)は便宜的なものである。破壊靱性試験片はCT試験片とし、ASTMに準拠して靱性値 K_{Ic} を求めた。予亀裂はノッチの先に厚さ0.15mmのダイヤモンドディスクを用いて与えた。図1に示すようにそれぞれの試験片において、各方向3個の試験を用意した。図2に試験の試験片寸法を示す。破壊面の凹凸の読み取り装置はレーザー変位計と自動XYテーブル、パーソナルコンピューターで構成されている。測定範囲は25×25mmで、試験片上に51測線(0.5mm間隔)をもうけ、1測線上に501の測点(0.05mm間隔)を設定した。解析した結果はフラクタル的であった。なお、すでに報告²⁾しているように、本測定システムにより得られるDの値は小数点以下第3

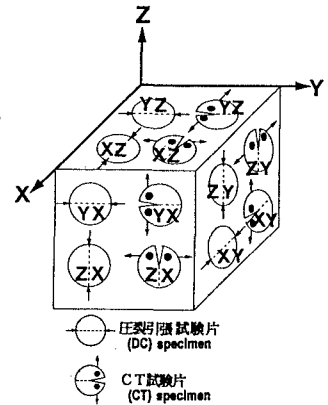


図1 白河石における座標と試験片の種類

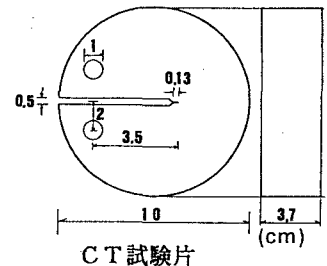


図2 破壊靱性試験片の寸法

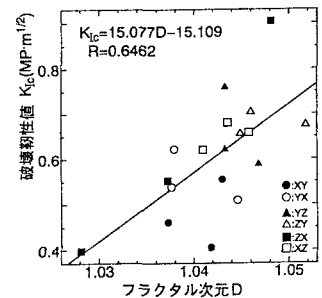


図3 破壊靱性値とフラクタル次元の相関

位の相違の議論が可能である。

4 破壊靱性値とフラクタル次元の相関

フラクタル次元は第3面が最大であり第1面が最小である。巨視的クラックの伝播方向の次元はこれと直交（試験片厚み）方向のそれより大きいという圧裂引張試験片の結果と逆の傾向を示している。また、図3に示すようにCT試験片では正の相関が観察されるが、図4の圧裂試験の場合（相関係数約0.9）より小さくそのばらつきも大きい。圧裂試験片の次元とその強度の相関に関しては混合破壊モード（I-II）を用いて議論²⁾したが、破壊靱性試験片の場合は図5に示す先在するクラック長2Cの微視クラックを考える。すなわち、CT試験片では予亀裂近くに存在する微視クラックについて図5に示すように、巨視的破壊面を含んだ面に直角な応力成分のみを考えることにする。そしてこのクラックの破壊条件はモードIに従うと仮定する。このクラック先端のK値は次式³⁾で示される。

$$K_I = (2/\pi) (\sigma \cos 2\alpha) \sqrt{\pi C} \quad (1)$$

この場合その破壊進展方向に平行なクラックの破壊靱性値は最小値（図5で $\alpha = 0$ ）となり、図4に示すように破壊靱性値 K_{I0} とフラクタル次元Dは正の相関をもつことになる。一方、CT試験片の次元と靱性値の関係ではばらつきが大きい、圧裂試験片のそれと対象的である。この場合そのピーク値に達するまでに多くのクラックがその巨視的破壊面の形成に関与することを示唆するものであろう。一方、CT試験片では予亀裂近傍から発生する新たな亀裂の伸びは、これが不安定となるまで数mm程度であることが観察される。そこで、予亀裂より5mm間隔でその区間の次元と破壊靱性値の相関の算出を試みた。しかし、特に明瞭な関係が観察されなかった。以上は次元の平均値に注目したが、予亀裂先端より5mmの区間の次元の変動係数と靱性値の関係について、各面について平均した結果を図6に示す。同図では明瞭な負の相関が認められる。この解析区間長さを大きくするとその相関は小さくなる。したがって、CT試験片の破壊機構はあたかも「最弱リンクモデル」のように組織に敏感で、変動係数が大きいほど強度（破壊靱性値）は低下することを意味するものであろう。すなわち、進展方向の粗度の程度（平均値）とこれと直交（試験片厚み）方向の粗度のばらつきの両方が破壊靱性値に影響を与えるものと考えられる。同一材料でも与えられる応力状態によって破壊面のフラクタル次元が異なることが明らかとなったので、それをさらに検討するためにスリープ破壊や水圧破碎の破壊面の解析等を準備中である。異方性との関係も今後の問題である。

参考文献

- 1) 田野(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, 日本大学紀要, 37, A pp. 9-17.
- 2) 藤澤, 田野(1996): 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, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, III B, pp. 646-647.
- 3) Sih, G.C. and Liebowitz(1968): Mathematical theories of brittle fracture, Fracture, Vol. II, p.67, Academic Press, New York.

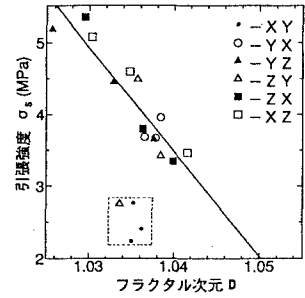


図4 圧裂引張強度とフラクタル次元の相関

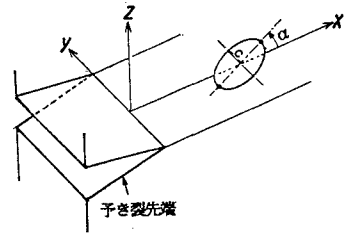


図5 微視的破壊モデル

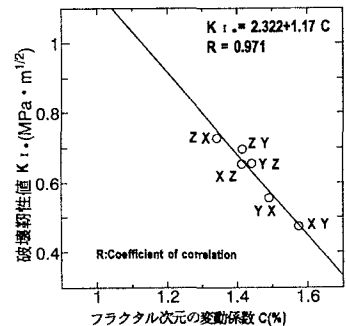


図6 クラック伝播方向のフラクタル次元の変動係数と破壊靱性値