

逐次分離破壊現象とフラクタルとの対応について

日本大学工学部 正員 田野久貴

1. まえがき

本文は岩質材料の逐次破壊現象の解明のための基礎的な実験とその検討結果を述べたものである。材料の破壊現象には本質的にばらつきが関与し、破壊様式やクラックによつて形成される破壊パターンのような“不規則な形”が常に付随しており、これらは破壊に関するいくつかの情報を示しているが、複雑なため取り扱にくく十分検討されていると言えない。近年注目されているフラクタルは、周知のように岩盤の節理の配向やその他に適用されつつあるが、実際の逐次破壊現象にフラクタルの観点から検討した例は少ないようである。そこで、本文では岩質材料の一軸圧縮試験における分離破壊パターンを、そのピーク以後も含めて観察し破壊挙動と2種類のフラクタル次元(クラック配向および形状)との対応を検討している。

2. 圧縮下の逐次破壊の観察(実験)

2.1 破壊パターンの観察方法 材料は石膏の角柱(6×6×6 cm)を用い、所定の変位(表1)を与えた後その中央で圧縮軸と直交した方向に切断し、発生しているクラックをテジダイザーでマイクロコンピュータに読み込み解析を行った。フラクタル解析は(1)粗視化の度合をかえることにより得られる、クラックの配向に関するフラクタル次元Dと、(2)発生要素の面積とその周長の分布より得られる、形状のフラクタル次元D。(ここではこう呼ぶこととする)を求めた。

与えた変位 (mm)	断面観察個数
0.5	10
0.6	10
0.7	10
0.8	8
1.0	8
1.5	9
2.0	5

表1 フラクタル解析に用いた試験個数

2.2 形状のフラクタル次元 図形の集合を考えこれらの要素の周長lを横軸に、その面積sを縦軸にそれぞれ対数でとりプロットしたとき、これらがほぼ直線にあるときフラクタル的であると考え。そしてその勾配をaとすると、その次元D_aは次式で計算される。

$$D_a = 2/a \quad (1)$$

この次元は例えば雲の分布¹⁾(D_a=1.34)に適用されている。

2.3 実験および解析結果

(1) クラック配向のフラクタル: 得られた破壊パターンの例を図1(a)及び図2(a)に示す。またクラックの配向について、粗視化の尺度(η_i)をかえて求めたクラックを含むメッシュの総数N_iを両対数に示した例が図1(b)及び図2(b)である。これらの各点はほぼ直線上にあり、ピーク強度以後もこの傾向は変わらずクラックの配向はフラクタル的であることがわかる。

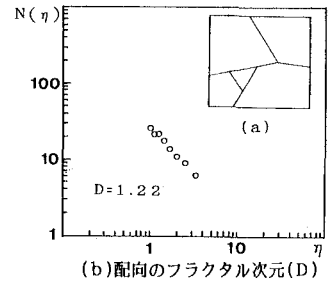
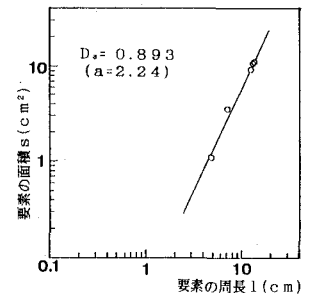


図3(a)は与えた変位とこのようにして得られた次元Dの平均値との関係を示している。変位の増加につれてDも増加し、変位0.7~0.8mm付近で急増している。



(2) 発生要素の形状のフラクタル: 破壊断面は変位に応じていくつかの要素に分割されるが、これらの周長(l)と断面積(s)を両対数にプロットしたものが図1(c)及び図2(c)である。各点はほぼ直線上にあり、その勾配をaとするとフラクタル次元D_aは式(1)より計算される。破壊が進行して要素が増加すると、バラツキが増加する傾向にある。

図3(a)に与えた変位との関係を示す。この勾配aは次元そのものではな

(c) 要素の周長と面積の関係

図1 破壊パターンと配向及び要素形状のフラクタルの例(変位u=0.5mm)

いが以後このaについて注目する。

3. 考察

(1) 配向のフラクタル次元: これらの破壊パターンランダム性に対応して変位-荷重関係もばらつく。そこで図3(b)に各所定の変位を与えた際に得られた変位-荷重関係を変位を主として荷重を平均したものを示す。これによると、0.5mm付近より非線形化が認められ、ピーク強度は0.7mm付近にあることがわかる。図3(a)の配向の次元Dはこの点をやや過ぎたあたりから急増している。これはクラックの発達を示すものと考えられ、ピーク点以後にAE発生が活発化するという従来の報告と対応するように思われる。

(2) 形状のフラクタル次元: 先に求めたD₀は個々の断面の要素(周長・面積)の分布による次元を求めた。ピーク強度以後はばらつきが増加すること、図3(b)のu-P関係と比較することを考慮して、次のような次元D_aを求めた。各試験片断面の周長lと面積sをそれぞれ平均値(L, A)で代表し、これらの各変位平均を両対数にプロットしたものが図4である。変位をパラメータとしたこれらの点は2本の直線の上にほぼ乗っており、したがってその交点を境界として次元が変化すると考えられる。この点の変位0.7mm付近、すなわちピーク強度点近傍にあることから、この次元D_aはピーク強度と良く対応していることがわかる。

実験で観察されるような分離破壊パターンを単位変位あたり発生させて、簡単な条件で要素を逐次破壊させるシミュレーション²⁾をすでに行っているが、その場合においても変位uをパラメータとするD_aはピーク点近傍で同様に屈曲点を示すことは興味深い。

D_aとDの両者を比較すると、前者がより材料の破壊挙動(特にu-P関係)に敏感に対応する理由は、軸方向クラックの発生は必ずしも耐荷力の減少にはならず、これらで囲まれた“要素”の破損や形状がこれに大きく影響するためと考えられる。したがって、前者すなわち“要素”として現象を取り扱うほうがより有効と思われる。

4. まとめ

- (1) 破壊断面に観察されるクラックの配向はピーク強度以後を含めてフラクタル的であり、その次元Dは変位とともに次第に増加する。
- (2) ピーク点以後にDの急増点があり、クラックの2次元的な発達現象と対応する。
- (3) クラックで囲まれた要素について、変位をパラメータとして得られる平均周長・平均面積の関係の分布をもとに、形状のフラクタル次元(本文ではこう呼んだ)D_aを提案した。
- (4) このD_aはピーク荷重点付近で屈曲点をもち、ピーク強度とよく対応する。

1) Lovejoy, S(1982): Science, 216, pp.185.

2) 田野久貴(1988): 分離破壊のPost-failure域のシミュレーション, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp.278-279.

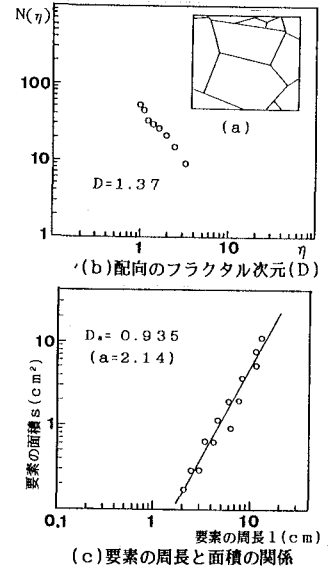


図2 破壊パターンと配向及び要素形状のフラクタルの例(変位u=1.0mm)

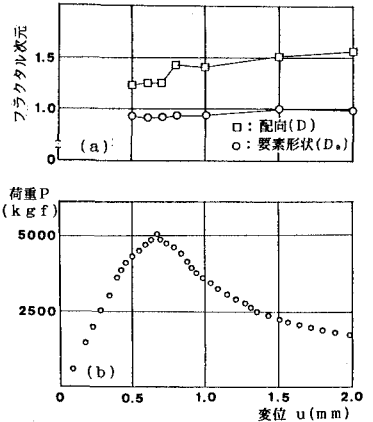


図3 変位uとフラクタル次元, 荷重の関係(平均値)

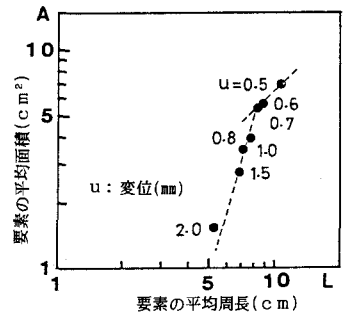


図4 要素平均周長(L)と同平均面積(A)との関係