

パーソナルコンピュータによる破壊パターンのシミュレーション

日本大学工学部 正員 田野久貴

1. まえがき

一軸圧縮下において分離破壊を示すような岩質材料のピーク強度以後の荷重－変位関係は、2次元的にはクラックによる試験片断面の分割と、3次元的には座屈による逐次破壊の過程と考えられる。この過程をコンピュータでシミュレーションするためには、まず与えられた断面をランダムに分割するシミュレーションプログラムが必要である。これらの基本的な考え方と若干の結果については既に報告したが、本文ではそのこのプログラムの修正および改良によって得られた二三の結果について報告する。

2. クラックの発生方法

与えられた領域の自由境界線あるいは発生クラックによって囲まれた領域を要素と呼ぶことにする。クラックの発生は次のような仮定のもとに行った。

(1)最大の分割要素内より次のクラックが発生する。(2)クラックは要素内では分岐しない。(3)クラックは要素の境界線と必ず交差し、その発生率は境界線の長さに比例する。これらの仮定のもとでの繰り返し計算のなかで、乱数の周期性によって時系列的に合同な破壊パターンを含む可能性がある。この合同なパターンを厳密に取り除くことは記憶容量の点で困難なため、第一回目の発生パターンを記憶し、各シミュレーションのそれと毎回比較することにより排除することを試みた。

3. 破壊パターンのパラメータ

破壊パターンの特性を評価するために次のようなパラメータを考えた。即ち、(1)平均クラック長、(2)最大クラック長および(3)最大クラック長シミュレーション平均であり、これらはクラック特性に関するものである。一方、要素の形状特性を表すものとして、(4)要素面積の変動係数、(5)要素形状の発生分布、および(6)要素の偏平度の諸特性について検討を加える。

なお、(6)の偏平度を評価するために、円を1とするROUというパラメータを定義した。すなわち、

$$ROU(k) = \frac{ME(k)}{\sum_{i=1}^n L_i} \times \frac{2}{R} \quad (1)$$

ここに $ME(k)$: 要素 K の面積、 L_i : i 番目の境界線、 R : $ME(k)$ と等しい面積をもつ円の半径である。

4. シミュレーション結果

(1) シミュレーションにおけるパラメータの収束性

図－1 にシミュレーション回数によるパラメータ（平均要素面積の変動係数の例）の変動の様子を示す。分割回数が比較的小さい範囲ではあまり安定しているとは云えないが、14分割程度になると200回くらいでも十分であると考えられる。そこで、本文では一応200回を基準とした。

(2) 発生クラックの特性

図－2 に分割回数と平均クラック長シミュレーション平均をしめす。平均クラック長は分割が進むと当然小さくなるが、その曲線は下に凸となる。表－1 は200回の繰り返し計算中、最大クラックの発生したステップ数とその長さのシミュレーション平均である。初回においてその長さおよび発生率ともに最大であり、3回までの累積発生率は約90%を示す。即ち、第三ステップ（分割数4個）までに、最大のクラックが発生することを示し、第六ステップまでには最大クラックが発生することを意味している。また、最大クラック

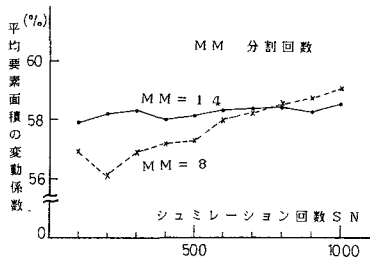


図-1 シミュレーション回数と破壊パターンのハロメータの収束性
(平均要素面積変動係数の例)

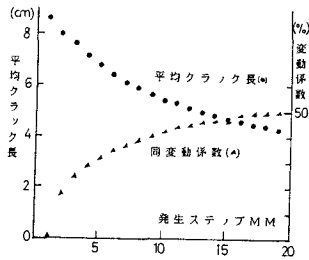


図-2 平均クラック長と変動係数
シミュレーション 200回

分割ステップMM	平均最大クラック長 (cm)	発生回数	発生率 (%)
1	10.3	114	57.0
2	10.1	28	14.0
3	9.1	39	19.5
4	8.9	11	5.5
5	8.9	6	3.0
6	7.8	2	1.0
7		0	0.0
8		0	0.0
18	~	0	0.0
19		0	0.0

総平均最大クラック長 = 9.9 cm
発生ステップ平均 1.9

表-1 最大クラックの発生ステップ
(シミュレーション 200回)
(分割回数 MM = 1.9)

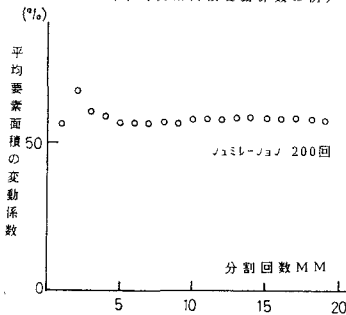


図-3 平均要素面積の変動係数と分割回数との関係

分割ステップMM	面積・周長比 ROU	変動係数 (%)
1	0.788	10.6
2	0.766	10.6
3	0.768	10.0
4	0.762	11.1
5	0.758	11.5
6	0.754	12.1
7	0.752	12.7
8	0.750	13.1
9	0.748	13.5
10	0.744	13.8
11	0.744	13.9
12	0.742	14.2
13	0.742	14.4
14	0.740	14.6
15	0.738	14.7
16	0.738	14.8
17	0.738	15.0
18	0.738	15.0
19	0.738	15.1

表-2 面積・周長比 ROU

要素形状	ROU
○	1.000
□	0.886
⬮	0.836
△	0.778
▲	0.698

表-4 規則的な形状の ROU

分割ステップMM	三角形	四角形	五角形	六角形	七角形	八角形	九角形
1	3.5	3.5	3.0	0	0	0	0
2	4.0	4.0	1.3	7	0	0	0
3	3.5	4.2	1.5	7	1	0	0
4	3.6	4.0	1.8	6	0	0	0
5	3.5	4.0	1.8	5	2	0	0
6	3.4	4.1	1.8	8	1	0	0
7	3.5	4.0	1.8	8	1	0	0
8	3.5	3.8	1.8	7	1	0	0
9	3.8	3.7	1.8	8	1	0	0
10	3.7	3.6	1.8	8	1	0	0
11	3.8	3.6	1.8	7	1	0	0
12	3.8	3.6	1.8	7	1	0	0
13	3.8	3.5	1.9	6	2	0	0
14	3.8	3.5	1.9	7	2	0	0
15	3.8	3.4	1.9	6	2	1	0
16	3.8	3.4	1.9	7	1	1	0
17	3.8	3.4	1.9	7	1	1	0
18	3.7	3.5	1.9	6	2	1	0
19	3.7	3.5	2.0	6	1	1	0

(a) シミュレーション回数 200回

4.9	3.7	3.5	2.0	6	1	1	0
-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

(b) シミュレーション回数 50回

表-3 要素の各形状の発生率 (%)

の平均発生ステップは、1.9回、クラック長の全平均は9.9 cmである。

(3) 要素の形状特性

図-3に平均要素面積の変動係数と分割回数との関係を示す。これは断面の等分割に対するバラツキを表すものであるが、5回以後はほぼ一定値に落ち着く傾向を示す。一方、表-2は各要素の形状の発生頻度を示したものである。分割がある程度進むと各形状の占める割合は一定値を示し、三角形・五角形の形状要素がほとんどであり、より複雑なものは発生しにくいことを示している。

次に要素の偏平度を見るために、(1)式で定義したROUを求めて表-3に示す。表-4の規則的な図形のそれと比べると、偏平な要素が卓越することがわかる。

1) 田野久貴：岩質材料の分離破壊に関するシミュレーション、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要、P.203-204、昭和61年3月。