

分離破壊のPost-failure域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

非拘束圧縮下における岩質材料の分離破壊過程において、ピーク強度以後のいわゆるPost-failure領域の変位-荷重関係については不明な点も多いが、その挙動は試験片断面に観察される破壊パターンと関係していると考えられる。このような観点から前報までに、この分割パターンを検討するために乱数を発生させて与えられた断面ランダムに分割する、いわゆるモンテカルロ法的手法によるプログラム「Bunkat us」を作成しその結果を報告した。

本文では、変位-荷重関係のシミュレーションプログラム「Cleav」にこれをサブルーチンとして組み込んで得られた結果について報告する。

2. 分離破壊過程における変位-荷重関係のシミュレーション

2.1 分離破壊シミュレーションにおける仮定

材料が圧縮変位を受けると内部応力が生じ、この値がある限界を越えると、微視クラックが発生し、これらが成長してその断面を分割する。変位がさらに増加すると分割は進み、多くの柱状要素が発生し、またその一部は耐荷力を失って荷重は低下する。このような現象を繰り返すことにより材料は崩壊し、この間にピーク荷重が出現すると考えられる。そこで次のような仮定のもとにシミュレーションを行った。

1) 材料には強制変位増分を与え、これによって内部応力が生じるものとする。2) 材料内部に部分破壊が生じても圧縮中心は不変とする。3) 変位増分の1ステップごとにクラックが発生して、前回検討した断面形状の柱状要素が形成される。4) 材料のもつヤング率は一定とし、断面にクラックが生じて表面エネルギーやAE波として放出されるエネルギーは無視する。5) 要素の破壊は、その要素のもつ座屈強度を作用応力が越えるか、またはこれと等しくなったとき生じ、要素は次の変位増分までに耐荷力を失う。

2.2 分離破壊シミュレーションの方法

材料の面積、ヤング率及びその長さが与えられると、そのコンプライアンス λ は次式で計算される。

$$\lambda = \frac{L}{A(u)E} \quad (1)$$

ここに、L：材料（試験片）長さ、A(u)：断面積、u：変位、E：ヤング率

したがって、変位uが与えられると荷重Pは次式で得られる。

$$P = \frac{u}{\lambda} \quad (2)$$

分割のためのサブルーチン「Bunkatsu」によって変位増分ごとにクラックを発生させ、直ちに各要素の断面諸量を求める。これらより各要素の座屈強度（両端の支持条件はヒンジを用いた）が得られる。分割が生じて必ずしもすぐに要素破壊とはならない。要素破壊が全く生じていない場合は、荷重の圧縮中心と材料断面の図心は一致しているので、(2)式の荷重Pを初期の

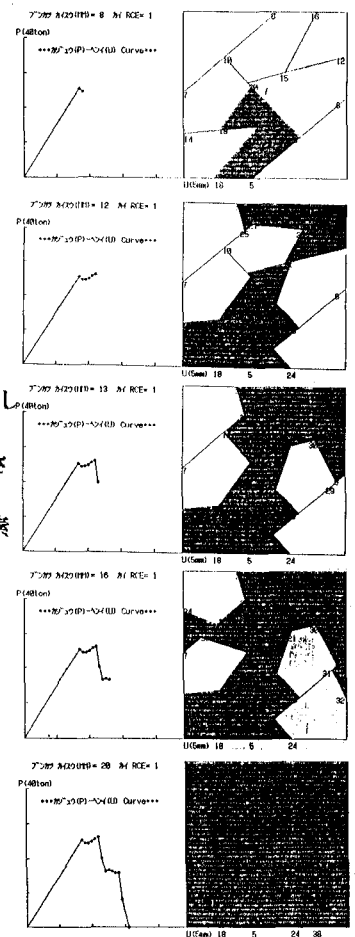


図-1 シミュレーション結果の例（破壊パターンの逐次変化と変位-荷重関係）

断面積で除した平均応力と先の各座屈強度とを比較する。

一方、要素破壊が発生し有効断面A(u)が減少すると、荷重中心と材料断面の図心は一般に一致せず、偏心によるモーメントが生じる。したがって、これ以後は各座屈強度と偏心圧縮応力とを比較して要素の破壊を判定する。

要素破壊が生じると材料の有効断面A(u)が減少することにより(1)式のコンプライアンス λ が増加する。ここで λ の再計算後にさらに変位増分を加えて要素破壊のチェックを行う。この操作をすべての要素が耐荷力を失うまで計算を実行して1回のシミュレーションとした。

3 分離破壊過程のシミュレーション結果

(1) 分割パターンと変位-荷重関係

本シミュレーション「Clev」はマイクロコンピュータの画面上において、分割パターンの変化や要素の破壊状況、及びこれに対応した変位-荷重関係を観察しながら実行することが可能である。図-1は、変位-荷重関係を分割パターンの変化及び要素破壊の状況と対応させて、順を追って示したものである。図中の要素の数字はクラックの発生順を示しており、また影で塗りつぶされた要素は破壊した要素である。

(2) 変位-荷重関係のタイプによる分類

ランダムな分割パターンにより変位-荷重関係もそれぞれ異なっているが、いくつか類似のタイプに分類される。図-2はこれを示したものである。同一図のタイプIIにおける破線はそのタイプに含まれるサブタイプを示しており、次のように分類される。

タイプI：単峰タイプ、ピーク荷重まで要素破壊がほとんど発生せずピーク以後変位の増加に伴って連続して生じる。タイプII：二峰タイプ、明瞭なピークが二つあり、第一ピーク以後の要素破壊による荷重低下の後再び荷重が回復する。両ピーク値の大小関係は一定しない。タイプIII：台形タイプ、明瞭なピーク荷重が存在せず、荷重の上昇・下降の小さな繰り返し後急速に耐荷力を失う。タイプIV：曲線タイプ、前三者に比べて初期からの小規模な要素破壊が連続し、ピーク荷重以後も同様であるため比較的なめらかな変位-荷重図を示す。表-1にこれらのタイプ別の発生頻度を示す。変位-荷重関係はシミュレーションを個別に見た場合様々である。シミュレーション結果としてはこれらを平均する必要がある。図-3は変位レベルごとに対応する荷重を平均した結果を、同図中の破線は平均値に対する変動の巾を表している。同図から平均的には変位-荷重関係はなめらかなカーブを示し、また、分割開始後の荷重の変動は次第に大きくなり、ピーク荷重以後さらに大きく増加する傾向にある。

変位-荷重曲線のタイプ	発生頻度(%)
I	24
II	28
III	25
IV	23

表-1 変位-荷重曲線のタイプ別頻度
(シミュレーション1000回)

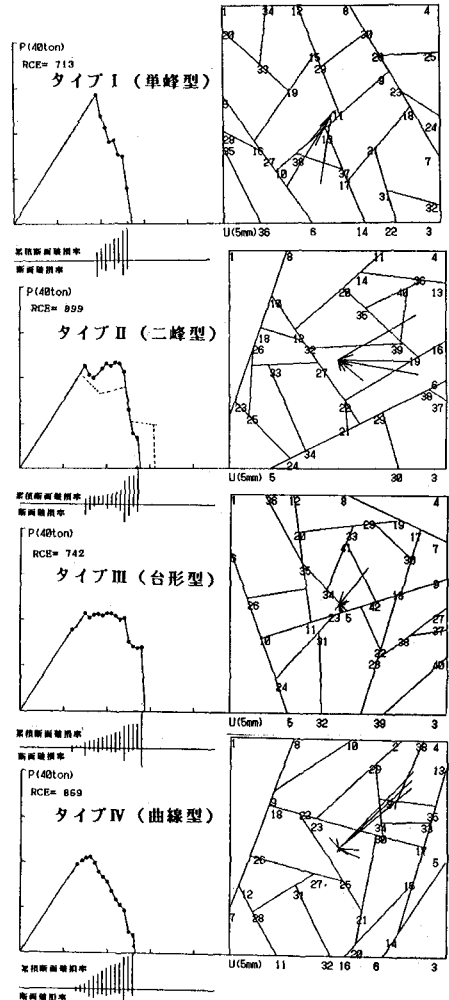


図-2 変位-荷重曲線のタイプと分割パターンの例

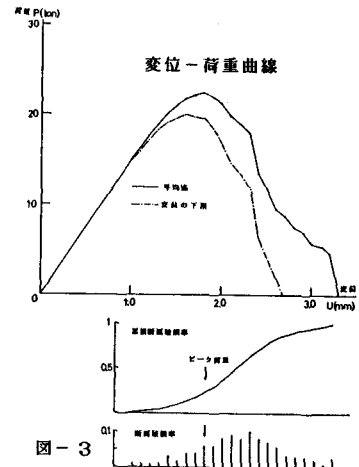


図-3 変位-荷重曲線のシミュレーション平均と変動(200回の平均)