

CS-12

均質材料の破壊形態の研究

東北大学工学部 学生員 水木麻雄
 ○東北大学工学部 正会員 池田清宏
 東北大学工学部 正会員 柳澤栄司

1、まえがき

土の三軸圧縮試験ではよく、供試体の表面に同じような周期で斜めの平行な縞が現れたり、まったく違った方向の縞がクロスしたようなパターンやダイヤモンドのような形をしたブロックの連続を持ったパターンが現れる。こういった破壊形態は、土だけでなく砂や岩などの材料特性がまったく違った材料全般に見受けられ、その根底にはある共通の法則が存在すると考えられる。この説明として池田ら^{1), 2)}は、対称性を持った均質材料はその対称性の階層的な崩壊とともに破壊形態を変化させていくという仮説を提案している。本研究では、三軸圧縮試験の円筒供試体や四角形領域といった対称性を持つ領域中の均質材料の破壊形態の変化を群論的分岐理論によりシミュレーションする。

2、群論的分岐理論による破壊形態の変化

円筒領域を上下端で、四角形領域に対しては上下・左右で周期境界条件により連続につながっていると仮定する。分岐以前の円筒領域は、図1に示すようにX-Z平面X-Y平面における鏡像変換に対する対称性、また軸まわりの角度 φ の変換、Z方向の長さ l の変換に対する対称性を持つ。この対称性というのはその点の歪みや応力といった物理量がこういった座標変換に対して不変であることを意味する。この領域の対称性は、上の4種類の座標変換から生成される群 G で表せられる。

$$G = \langle \sigma_Y, \sigma_Z, t(l), c(\varphi) \rangle$$

ある群に不変な系では、分岐に伴い対称性の低下が引き起こされることが知られている。分岐解の対称性はその群の部分群により表され、群 G からその部分群 G_1 、またその部分群 G_2 へと対称性が階層的に低下していくことを表す群の鎖が存在する。

円筒領域の分岐以降の変形パターンの変化については、池田らが理論的に解明しており、図2は分岐による変形パターンの変化を荷重-変位グラフ上で概念的に描いたものである。この図は均質な状態を表す主経路上の分岐点Aにおいて、ダイヤモンド状のブロックから成り立つダイヤモンドパターンと、斜め方向の平行な縞模様を形成するストライプパターンに分岐していることを、またストライプパターンからは分岐点Cにおいて斜め方向に連続するしわや亀裂からなるエッチェロンモード(雁行モード)に分岐していることを表している。変形パターンは円筒領域の展開図であり、図中の点は同じ物理量を持つ点を表している。

3、破壊形態の変化のシミュレーション

一般にある群 G の解空間は部分空間の直和として表せられ、その部分空間がそれぞれ主経路や分岐解に対応している。上にあげた3つのパターンについて、1次元の変位の分岐解の一例をあげると

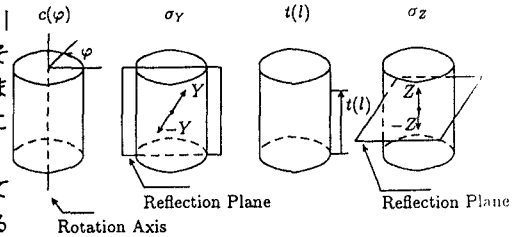


図1 4種の座標変換

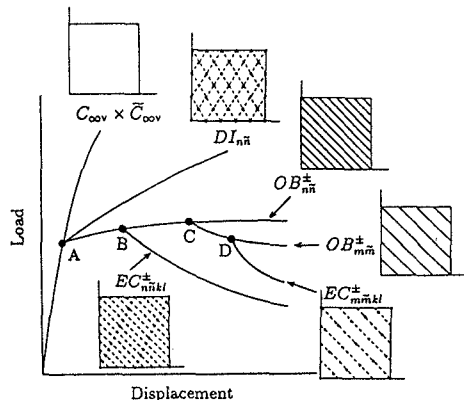


図2 分岐概念図

1) ダイヤモンド パターン

$$u = \cos n\theta \cos 2\pi \tilde{n} \frac{Z}{L}$$

2) ストライプ パターン

$$u = \sum \cos 2\pi k \left[n \frac{\theta}{2\pi} \pm \tilde{n} \frac{Z}{L} \right]$$

3) エッチェロン モード

$$\begin{aligned} u = & A \cos 2\pi \left(2 \times \frac{\theta}{2\pi} + \frac{Z}{L} \right) \\ & + B \cos 2\pi \left(7 \times \frac{\theta}{2\pi} + 7 \times \frac{Z}{L} \right) \\ & + C \cos 2\pi \left(9 \times \frac{\theta}{2\pi} + 8 \times \frac{Z}{L} \right) \end{aligned}$$

のように余弦波の重ね合わせとして表せる。これらの変形モードの強弱に濃淡をつけて表したものが図3、4に示すものである。図3は実験やフィールドワークなどから経験的に得た岩石の割れの網状パターンの発達概念図³⁾の、また図4は砂の平面ひずみ二軸試験でのひずみの局所化の進行をステレオフォトグラメトリーを用いて描いたもの⁴⁾の破壊形態の変化をシミュレーションしたものである。

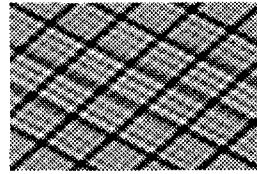
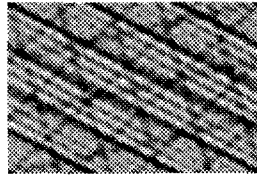
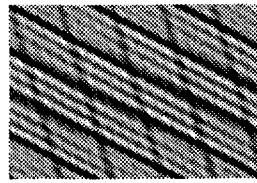


図3 網状パターンの発達

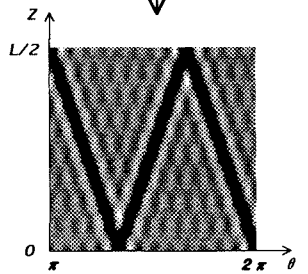
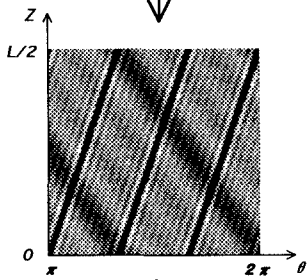
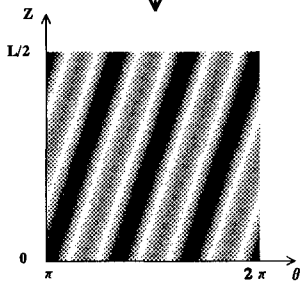
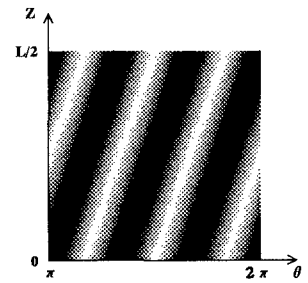


図4 砂のひずみの局所化

4、おわりに

破壊形態の変化を群論的分岐理論にもとずいて幾何学的情報によりシミュレーションできた。構造物の形状や寸法、また重条件によってどのようなモードが発現するかという個別の問題への適応は今後の研究課題である。

<参考文献>

- 1) K.Ikeda, K.Murota, M.Nakano (1994) : "Echelon Mode in Uniformal Materials," International Journal of Solids and Structures vol.31, No.19, pp2709-2733
- 2) K.Ikeda, K.Murota: "Recursive Bifurcation as Sources of Complexity in Soil Shearing Behavior," Prescript
- 3) A.Pinto Da Cunha: "Scale effect in Rock Masses 93," A.A.BALKEMA, P.136、Figure3.
- 4) R.Chambon, J.Desrues, I.Vardoulakis: "Localisation and Bifurcation Theory for Soils and Rocks," cover: Joseph Fourier 大学のM.Mokniの博士論文(1992)より