

CS 38

有限変形解析を用いた Cam-clay モデルの分岐モードについて

金沢大学工学部 正員 矢富盟祥  
 京都大学工学部 正員 田村 武  
 ○住友重機械工業(株) 正員 古本吉倫

1. はじめに

土の三軸圧縮試験において、最大荷重が測定される以前に、例えば、対称1モード、対称2次モード（いわゆるバルジ型の変形）や非対称1次モードなどの変形の分岐モードが観測されることがある。ついで、最大荷重付近では、このような変形モードに沿うかたちで、局所的なせん断ひずみが発生し、最終的にすべり面の生成を経て、供試体が破壊に至ると考えられる。

本研究では、このような分岐モードについて、有限変形解析を用いて数値解析的に考察した。具体的には、構成式として、非共軸 Cam-clay モデルを用い、平面ひずみ、非排水条件のもとで、変位制御試験で一方向一様圧縮を行ったときの分岐荷重と変形モードを有限変形弾塑性有限要素法によって求めた。さらに、このようにして数値解析的に求めた分岐荷重と変形モードの解析結果を矢富ら（1993）が導いた理論解と比較し、本手法の妥当性を検討した。

2. 解析方法

非圧縮性、平面ひずみの条件下で変位制御で Fig.1 に示す境界条件のもとに、軸方向に一様圧縮する。要素の上下端には摩擦はないものとする。構成式には非共軸 Cam-clay モデル（Yatomi et al.1989）を用い、Updated Lagrange 法によって有限要素定式化し、繰返し計算を行う。接線剛性マトリクスの行列式が十分に小さくなったとき、このマトリクスの零固有値に対する固有ベクトルを計算し、これを分岐モードとし、このときの荷重を分岐荷重とした。

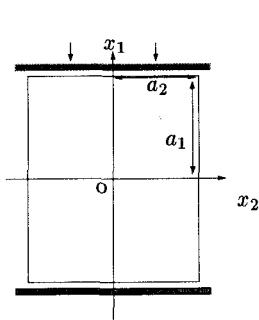
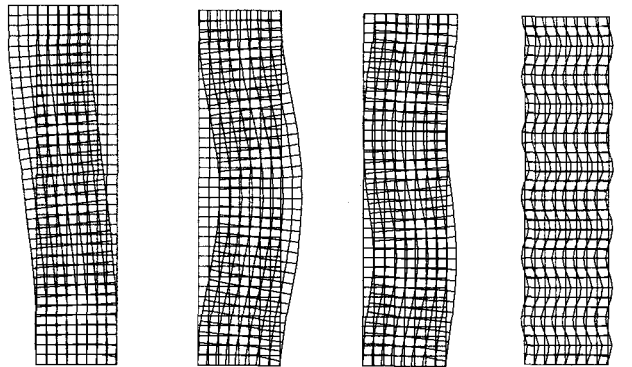


Fig.1 平面ひずみ非排水条件



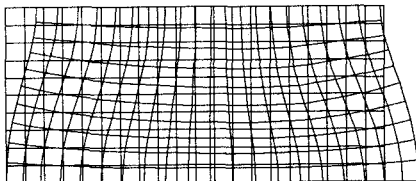
非対称 1 次

非対称 2 次

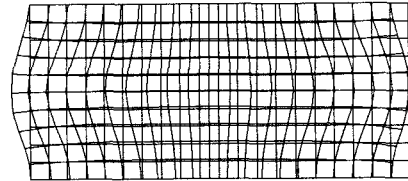
非対称 3 次

非対称 12 次

Fig.2 非対称モード



対称 1 次



対称 2 次

Fig.3 対称モード

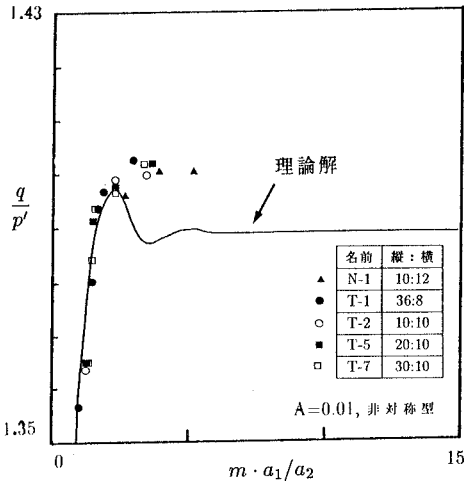


Fig.4 理論解との比較  
(非対称モード)

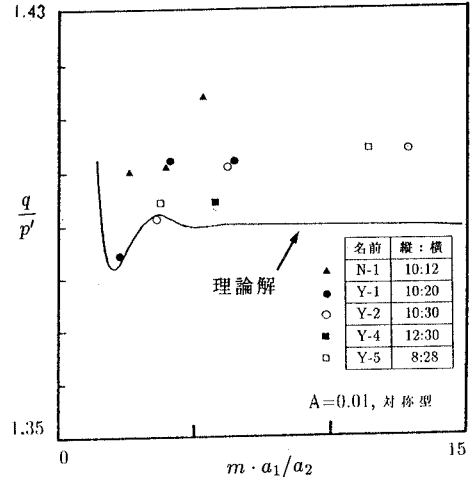


Fig.5 理論解との比較  
(対称モード)

### 3. 解析結果

非対称モードの例, 対称モードの例をそれぞれ, Fig.2, Fig.3 に示す. 各図には, モードとモードが発生する瞬間の供試体の変位を重ねて描いている. いずれのモードも主経路上で起こっている. 次数の低いモードから順番に発現するが, 高次モードになるほど次のモードが現れるまでの荷重差は小さい.

### 4. 考察

有限要素法によって計算した結果と矢富ら (1993) が導いた理論解を重ねてプロットした図を Fig.4, Fig.5 に示す. ここに,  $p'$  は有効平均垂直応力,  $q$  は軸差応力,  $m$  はモード,  $a_1/a_2$  は, 分岐が起こる瞬間の要素供試体の横/縦比である. まず, 非対称モードの理論解と有限要素法による解とを比較すると, 高次モードでの挙動を除き, かなりよく一致する. 高次モードにおいて一致しないのは, 有限要素法ではメッシュ分割数に限りがあるため, 高次モードが出にくいと考えられる. 対称モードでも同様に低次モードでは理論解とよく一致するが, 高次モードにおいては一致しない. すなわち, 理論解より大きな荷重でないと高次のモードが出にくくなる. その理由は, 横長の要素の場合, 縦長の要素の場合よりも, 要素数が同じでも, 相対的に側面のメッシュが粗くなる分, 非対称モードの場合よりもさらに, 離散化誤差が大きくなるためと考えられる.

### 5. 結論

本研究では, 構成式として, 非共軸 Cam-clay モデルを用い, 平面ひずみ, 非排水条件のもとで, 変位制御, 一方向一様圧縮を行ったときの分岐荷重と変形モードを有限変形弾塑性有限要素法によって求めた. その結果, 主経路上にいくつかの分岐点が存在し, 第1次から第十数次までの分岐モードを有限変形有限要素法によって計算することができた. 高次の分岐荷重は互いに接近していることがわかった.

さらに, このようにして数値解析的に求めた分岐荷重と変形モードの解析結果を矢富ら (1993) が導いた理論解と比較したところ, 比較的 low 次モードでは, 理論解と有限要素法による解析解とはよく一致することがわかった. 逆に, 高次のモードでは理論解とは隔たり, より大きな荷重でないと高次のモードが出にくいという結果になった. 有限要素のメッシュの粗さの影響で, より高次のモードが出にくくなっていると考えられる.

### 参考文献

- 1) Yatomi, C., Yasima, A., Iizuka, A. and Sano, I. (1989) : "General theory of shear bands formation by a non-coaxial cam-clay model", Soils and Foundations, Vol.29, No.3, pp.41-53.
- 2) Yatomi, C., Yasima, A., Iizuka, A. and Sano, II. (1989) : "Shear bands formation numerically simulated by a non-coaxial cam-clay model", Soils and Foundations, Vol.29, No.4.
- 3) 矢富 祥, 石田 啓 (1993) : 弾塑性体の平面ひずみ圧縮試験における分岐解析, 京都大学数理解析研究所, 工学に現れる偏微分方程式の数値解析とその周辺 (2) 予稿集.