

砂の平面ひずみ変形挙動の 分岐メカニズムに基づく分析法

東北大学 正会員 池田 清宏
東京工業大学 正会員 市村 強
若築建設 正会員 佐々木 寛典

1. はじめに

土の要素試験において、拡散型分岐による変形がせん断線形成分岐を誘発するという仮説が提案されている¹⁾。土の供試体における局所化領域の目視による観察には困難を伴うため、近年画像処理技術の導入が図られており、X線CT法による土のせん断面等の詳細な観察²⁾、画像解析による砂の変位場計測等³⁾が行われている。しかし、拡散型分岐の実験的検証はまだ不十分である。

そこで、土の供試体における分岐の検出を目指し、

- PIV(粒子画像流速計測法)による変形画像の取得
- 変形画像の2重フーリエ解析
- 対称性に基づく分解による分岐の判定

を組み合わせた分岐検出画像解析手法を提案する。

端面摩擦無し、载荷速度一定の条件の下で豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験を行う。変形速度場の画像に対してPIVを用いることにより、供試体の変位場の経時変化の画像を求める。さらに、この画像を本手法によって解析することにより、分岐モードを特定し、拡散型分岐が起きていることを示す。

2. 長方形領域の拡散型分岐

長方形領域の分岐は下記の2種類に大別される。

- 非均質な状態から発生する分岐
- 均質な状態から発生する分岐

非均質な状態から発生する分岐では、長方形領域は、分岐するまでは、上下・左右鏡映対称性と π 回転対称性を保つ、いわゆる樽型変形であると仮定する。このとき、第1次分岐後の解は、上下対称または

左右対称または π 回転対称となる。さらに、第2次分岐を起こす場合には、分岐後の解は非対称となる。この分岐の仕組みの模式図を図-1の実線の矢印で示す。実際には、PIV画像を上下左右 π 回転対称、 π 回転対称、左右対称、上下対称性の4つの対称性を持つ画像に分解し、その経時変化を調べることで分岐を検出する。

均質な状態では、harmonicモードが分岐モードとなり、図-1に点線の矢印で示すような分岐が引き起こされる。実際には、PIV画像を離散2重フーリエ展開し、卓越するスペクトルの波数 (n_x, n_y) を調べることにより、この種の分岐を検出する。

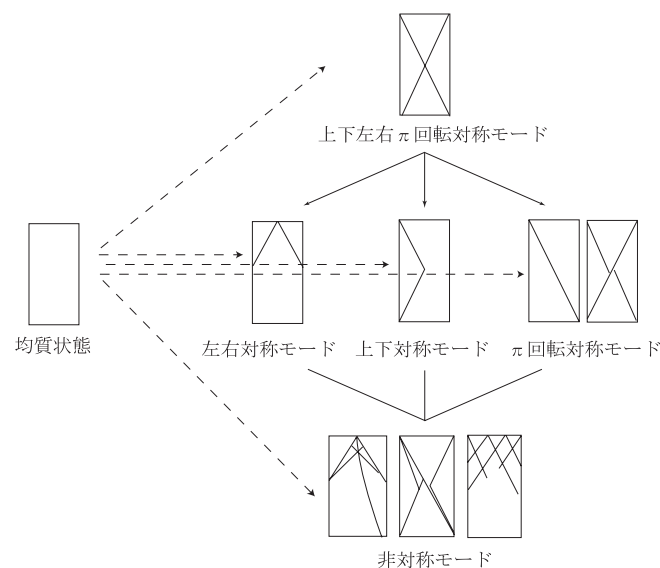


図-1 長方形領域の分岐の仕組み図

3. 豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験体の分岐

豊浦砂の圧縮せん断試験を行い、PIVにより図-2に示す変形速度ベクトルを求めた。 $\varepsilon=3.6\%$ 付近から徐々に変形が局所化していることが確認できた。

Key Words: 滑り線, 砂, 拡散型分岐, 画像解析, 平面ひずみ圧縮試験

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06

(1) 非均質な状態からの分岐の検出

図-2 に示す変形画像を対称性ごとに図-3 に示す 4 つの画像に分解することにより、非均質変形からの分岐を検出する。分解した 4 つの画像の内、上下左右 π 回転対称モードは、分岐以前のモードであり、残りの 3 つが分岐モードに対応する。 π 回転対称性を有するモードが $\varepsilon = 3.6\%$ で発生している。これは、

上下左右 π 回転対称 $\rightarrow \pi$ 回転対称

という 1 次分岐を起こしたことを示している。また、 $\varepsilon = 4.8\%$ 以降に上下対称成分が発現し、下記の 2 次分岐が起きている。

π 回転対称 $\rightarrow$ 非対称

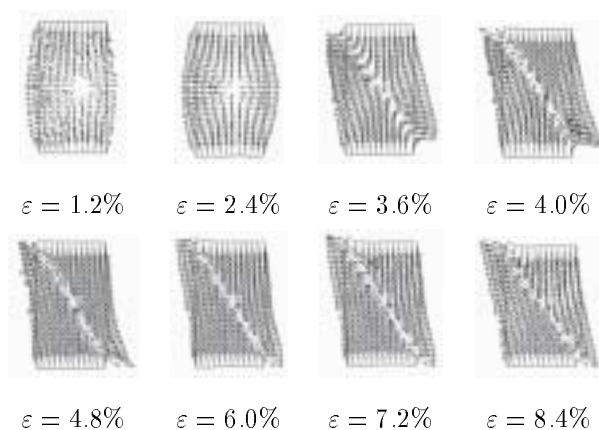


図-2 変形速度ベクトル図

(2) 均質な状態からの分岐の検出

変形画像を 2 重フーリエ級数により分解し、卓越するスペクトルを調べた結果、波数 $(n_x, n_y) = (1, 1)$ に対応するスペクトルが卓越していることが判明した。図-4 にこのスペクトルが表す分岐モードを示す。これが均質な状態からの分岐モードである。

4. 結論

本研究では、土の供試体の拡散型分岐モードの発現により、対称性が喪失し、せん断帯の形成が誘発されていることを確認できた。本手法は様々な数値解析や実験に適用可能であり、変形形態の観察の高度化に貢献できるものと思われる。

上下左右 π 回転対称 π 回転対称 左右対称 上下対称

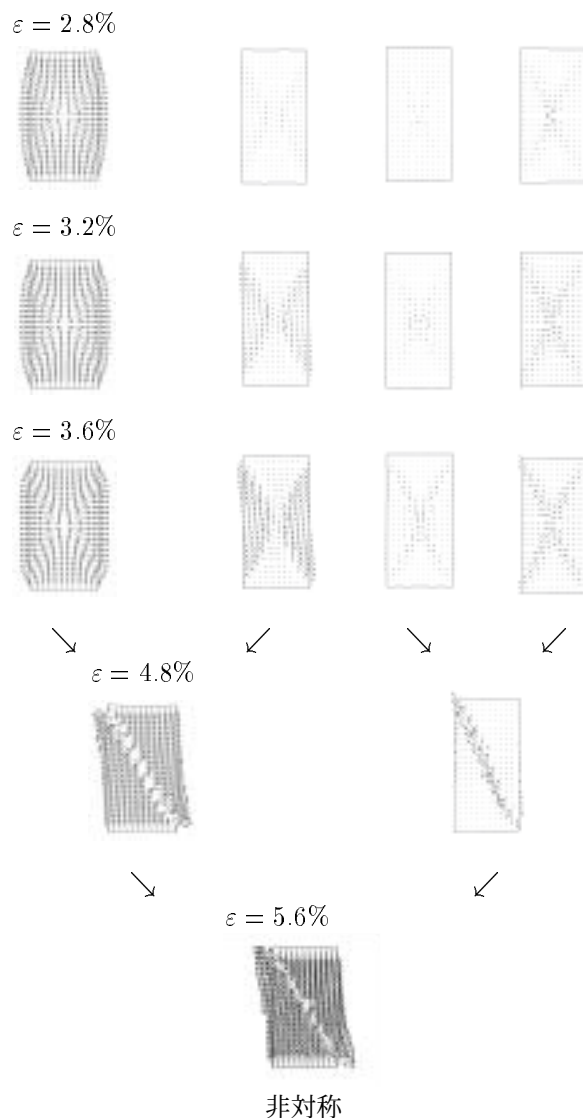


図-3 変形速度分布のブロック分解



図-4 Harmonic 分岐モード

参考文献

- 1) Ikeda, K., Yamakawa, Y., and Tsutumi, S.: Simulation and interpretation of diffuse mode bifurcation of elastoplastic solids, *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 51, No. 9, pp. 1649-1673, 2003.
- 2) Otani, J., Mukunoki, T., Obara, Y.: Application of X-Ray CT Method for Characterization of Failure in Solids, *Soils and Foundations*, Vol. 40, No.2, pp. 111-118, 2000.
- 3) 上野 勝利, 高島 伸哉, 望月 秋利, 馬 陰峰: 画像解析による簡便な砂の変位場計測法, 土木学会論文集, No. 666, III-53, pp. 339-344, 2000.