

Ⅲ-31

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 柳澤栄司
東北大学工学部 正会員 池田清宏

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思われる。この説明として池田ら¹⁾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といった周期的に対称性を持った構造物の破壊形態の変化について群論的分岐理論を用いたシミュレートを試みる。

2、群論的分岐理論による破壊形態の変化

ここでは、図1のような円筒領域を持った構造物の破壊形態について述べるのだが、まず分岐以前の円筒領域の対称性は、

$$C_{\infty} = \langle \sigma_Y, c(\varphi) \rangle = \{ c(\varphi), \sigma_Y c(\varphi) | 0 \leq \varphi < 2\pi \} \quad (1)$$

$$\bar{C}_{\infty V} = \langle \sigma_Z, t(l) \rangle = \{ t(l), \sigma_Z t(l) | 0 \leq l < L \} \quad (2)$$

σ_Y 、 σ_Z はそれぞれX-Z平面内X-Y平面における鏡像変換に対する対称性

$c(\varphi)$ 、 $t(l)$ はそれぞれ角度 φ 、長さ l の変換に対する対称性の直積で表され、上のような変換に対してその点は歪みや応力といった物理量が同じという対称性を持つ。その後、対称性破壊分岐点において上の群の部分群である下のような対称性に移行する。

$$OB_{\infty}^- = \left\langle \sigma_Y \sigma_Z, \left\{ c(\varphi) t(l) \middle| n \frac{\varphi}{2\pi} - \tilde{n} \frac{l}{L} = N, N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \right\} \right\rangle \quad (3)$$

このパターンは Oblique Stripe pattern と呼ばれ、円筒の表面を開いた図2のように斜線上の点は同じ物理量を持ち、実際三軸圧縮試験の供試体などに見られる細かい縞を表していると思われる。次に、分岐点においてその補群である Echelon Mode の対称性に移行する。

$$EC_{\infty}^- = \left\langle \sigma_Y \sigma_Z, c \left(2\pi \frac{\tilde{n}}{dk} \right) t \left(L \frac{n}{dk} \right), c \left(\frac{2\pi}{d} \left(p + \frac{\tilde{n}l}{dk} \right) \right) t \left(\frac{L}{d} \left(\tilde{p} + \frac{nl}{dk} \right) \right) \right\rangle \quad (4)$$

図3、4で示すこのパターンは●で示した点が同じ物理量を持ち、それらのなれば斜線とは違った周期、方向をしている。実際には細かいしわの集まりとしてクロスして現れるせん断帯がこのパターンだと思われる

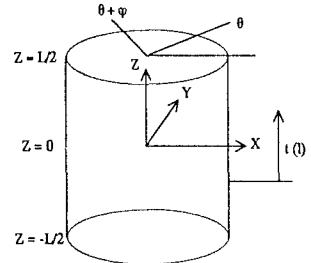


図1 円筒領域

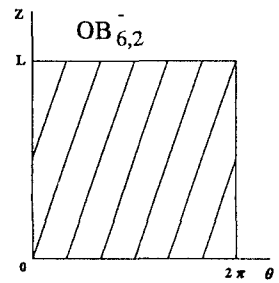


図2

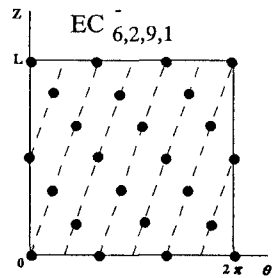


図3

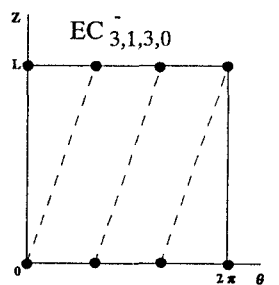


図4

る。このように対称性を階層的に壊しながら破壊形態を変化させていく。

3、実際の破壊形態と理論的考察

図9は、砂の歪みの変化をステレオフォトグラメトリーを用いて観察したものである³⁾。図7、8はそれぞれ図9の上から3つ目と最後の歪みの状態は周期的に対称性があるものとして、周期関数 $\cos$ の重ね合わせとして表したものである。この砂の破壊過程は次のように考えることができる。

図5のStripe Patternが図6のように局所化していき、図7のように、これらの縞とは違った方向、周期に薄い縞が現れてくる。その後、その薄い縞はしだいに消え、図8のようにまた別の方向、周期の縞が最終的にははっきりと現れている。これを円筒領域の4分の1の領域としてみると図3のパターンから図4のパターンに移行し対称性が損なわれていったのがわかる。

4、まとめ

現在の技術では破壊モードを正確につかむのは困難である。特にここで扱ったような高周波の変形モードを実験などにより観察するのは非常に難しい。しかし、構造物の形状や寸法によってどういったモードがやすいかといったことは、今後研究されることであると思われる。

<参考文献>

- 1) ECHELON MODE IN UNIFORM MATERIALS (1994)
Ikeda, Murota, Nakano
INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES
vol.31, No.19, pp2709-2733
- 2) RECURSIVE BIFURCATION AS SOURCES OF COMPLEXITY IN SOIL SHEARING BEHAVIOR
Ikeda, Murota
- 3) LOCALISATION AND BIFURCATION THEORY FOR SOILS AND ROCKS
R. Chambon, J. Desrues, I. Vardoulakis
cover: Joseph Fourier 大学の M. Mokni
の博士論文(1992)より

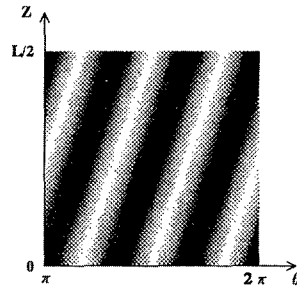


図 5

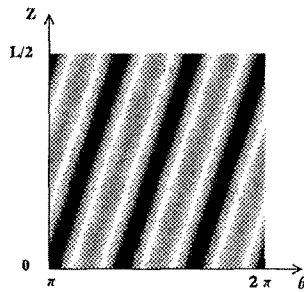


図 6

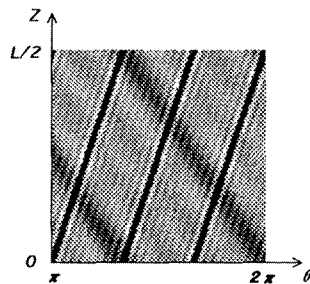


図 7

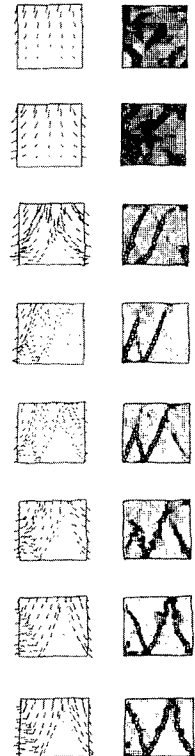


図 9

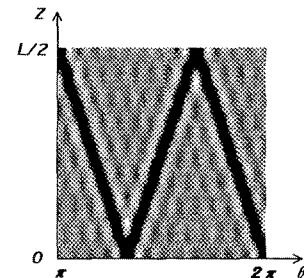


図 8