

砂の三軸圧縮試験における分岐モードの変動観察

島根県 正会員 ○米原久人

東北大学 正会員 池田清宏, 柳澤栄司

1. はじめに

分岐モード変化による粘土の強度発現の変動の存在が浅岡・野田¹⁾により指摘されている。また小高・浅岡・鈴木²⁾は砂の三軸供試体にダイヤモンドパターンやストライプパターンという、円筒シェルの分岐座屈によく見られる分岐モードが存在することを明らかにしている。本研究では、三軸圧縮試験における強度の供試体毎の変動に、分岐モードの変動 (mode switching) が深く関与していることを実験的に明らかにする。分岐モードの分類法として、池田・室田³⁾が提案する群論的分岐理論に基づく方法を用いる。

2. 理論

円柱供試体の対称性を、分子化学でよく用いられている、Schoenflies 記号により記述する (理論の詳細は池田・室田³⁾を参照)。この供試体は図1に示す3個の座標変換

$$\begin{aligned} c(\varphi) &: \theta \mapsto \theta + \varphi \\ \sigma_Y &: Y \mapsto -Y \\ \sigma_Z &: Z \mapsto -Z \end{aligned}$$

に対する不変性を持ち、その対称性はこの3個の座標変換から生成される群

$$D_{\infty h} \equiv \langle \sigma_Y, \sigma_Z, c(\varphi) \rangle$$

により表わされる。この群は円周方向に軸対称かつ上下方向に鏡映対称なビヤダル状の変形を表す (図2左上参照)。

ある群に同変な系では、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おり、分岐解の対称性はその群の部分群により表わされる。分岐モードの例を図3に示す。右上に示す $C_{\infty v}$ 不変なモードは、軸対称性は保つが下側が

膨らむことにより上下対称性を失っている。下に示す D_{2h} 不変なモードは、断面が楕円状に変形することにより、軸対称性は失うが、各軸回りの180度の回転対称性と上下・左右・前後の対称性は保持している。

群論的分岐理論によると、ある群 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することを表す群の鎖

$$G \rightarrow G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow \dots$$

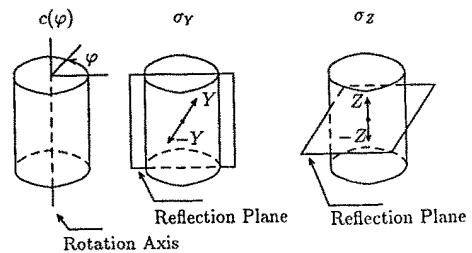


図1 円柱供試体の対称性

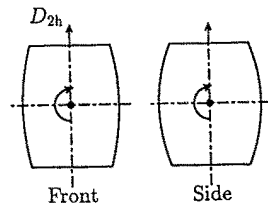
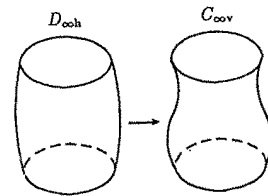


図2 分岐モードの例

が存在することが分かっている。円柱供試体の対称群 $D_{\infty h}$ に対する群の鎖を図3に示す³⁾。この群の鎖は、どのような変形形状が発生したときに分岐が生じたかを判断できる論理的な根拠となるので、供試体の変形の観察に有用である。

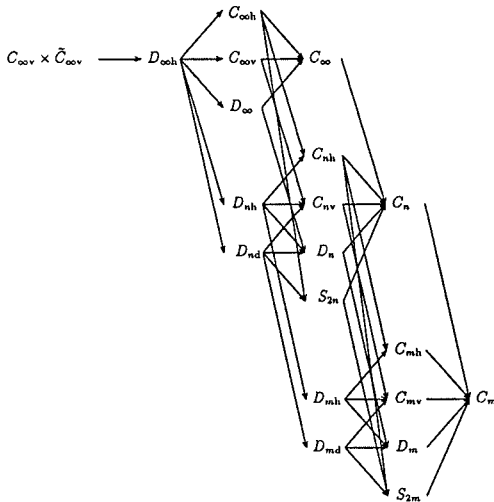


図3 分岐階層図 (m は n の約数)

3. 適用例

豊浦標準砂の排水せん断試験を同一条件で数多く行い、その強度変動のメカニズムを調べた。分岐モードを誘発するために、供試体を同一間隙比の幾つかの層 (1, 3, 4, 6, 8 層) に分けて製作した¹⁾。図4に例として1層と3層の応力-歪み曲線を示す。この2ケースとも有意な強度変動を起こしている。

上記の実験データの変形形状を、図3に示す分岐の仕組みをもとに観察したところ、おおむね

- (a) $D_{\infty h} \rightarrow C_{\infty v}$
- (b) $D_{\infty h} \rightarrow D_{2h}$

という2種類に分類できた。このように分岐モード毎に分類した応力-歪み曲線を図4に示す。明らかに強度変動は小さくなっており、供

試体の強度変動の大半は分岐モードの変動に起因することを端的に示している。

4. まとめ

この研究では、分岐モードの変動が強度の発現に及ぼす影響の一端を示すことができた。土の分岐のメカニズムを解き明かして行くことが今後の課題である。

5. 謝辞

この研究には前田記念工学振興財団のご援助をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- [1] A. Asaoka and T. Noda (1995): "Imperfection-sensitive bifurcation of cam-clay under plane strain compression with undrained boundaries," Soils and Foundations, 35(1), 83-100.
- [2] 小高猛司, 浅岡 顕, 鈴木建爾: 初期不整を有する砂試験体のせん断特性と破壊形態, 土木学会第49回年次学術講演会, 3-156, 306-307.
- [3] K. Ikeda and K. Murota (1990): "Recursive bifurcation as sources of complexity in soil shearing behavior," Preprint.

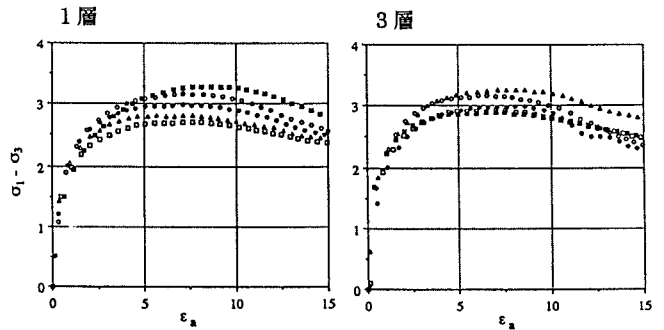


図4 層別の応力-歪み曲線

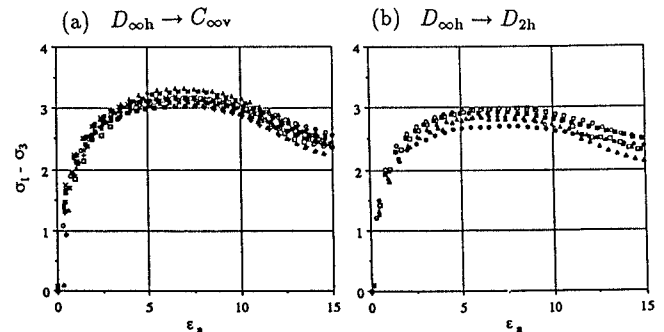


図5 分岐モード別の応力-歪み曲線