

主応力方向の連続的な変化を受けた砂の非共軸性について

山口大学工学部 正員 安福規之 兵動正幸 村田秀一

山口大学大学院 学生員 ○永島剛圭

西松建設(株) 正員 浜田透

1) まえがき

近年、非共軸性(主応力方向と主塑性ひずみ増分方向の一致しない状態)の重要性が指摘されている^{1) 2) 3)}ものの、非共軸性の表れ方を実験的に示した例は比較的少ない。本報告では、せん断応力レベルと中間主応力係数を一定に保ったまま主応力方向の変動のみを繰返し与えた異方圧密砂の主塑性ひずみ増分の発現の仕方を実験的に調べ、主応力方向の変動過程における砂の非共軸性の表れ方について検討する。

2) 実験方法

実験は、中空ねじりせん断試験機⁴⁾を用いて行った。供試体は、内径6cm・外径10cm・高さ20cmの中空円筒形供試体である。主応力の作用した供試体の一要素を図-1に示す。ここで、 α_σ は最大主応力方向と鉛直方向のなす角度である。実験は、山口県秋穂町で採取された秋穂砂($G_s=2.633$, $e_{max}=0.958$, $e_{min}=0.582$)を用いて行われた。供試体は、 $Dr=60\%$ を目標にして空中落下法により作成し、炭酸ガスを通気した後、脱気水を通水し飽和させた。また、背圧として 1kgf/cm^2 を负荷した。

次に、図-2(a), (b)は、実験で用いた応力径路を示したものである。(a)図は異方圧密履歴を与える応力径路、(b)図は主応力方向を繰返し変動させる際の応力径路を示している。図-2(a)において、異方圧密は、応力比 $\eta=0.866$ ($\phi=30^\circ$)一定で平均有効主応力 $p=1\text{kgf/cm}^2$ (A点)まで異方圧密し、等方圧密状態(C点)まで除荷する。その後、平均有効主応力 $p=1\text{kgf/cm}^2$ 一定、中間主応力係数 $b=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)=0.5$ 一定、 α_σ を固定して、ある応力レベル $\phi=\arcsin(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)=30^\circ$ まで排水せん断を行った。そして、応力レベル $\phi(=30^\circ)$ を一定にして、排水条件下において主応力方向を変動角 $\beta_\sigma=30^\circ$ で繰返し変動させた(図-3参照)。主応力方向の繰返し変動は図-2(b)に示すように、変動の中心位置 $\alpha_\sigma=45^\circ$ の場合(Type-A試験)、 $E \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow E$ の径路をとり、また $\alpha_\sigma=135^\circ$ の場合(Type-B試験)、 $H \rightarrow I \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow H$ の径路をとる。これを1cycleとして5cycleまで繰返し変動試験を行う。表-1に各試験の実験条件をまとめている。本実験では、精度を高めるための補正として、メンブレン貫入量補正・リーク量補正・メンブレン張力補正を行っている⁴⁾。

3) 実験結果と考察

図-4(a), (b)は、 45° 方向に異方圧密した後、 45° 方向(Type-A)または 135° 方向(Type-B)を中心に主応力方向を繰返し変動させた試験の結果をまとめたものであり、 $\sigma_{x\theta}-(\sigma_x-\sigma_\theta)/2$ 平面における主塑性ひずみ増分方向を単位ベクトルにして示したものである。図-4(a)は1cycle目、(b)図は5cycle目の結果を表したものである。これらの図より、いずれのサイクルにおいても、主塑性ひずみ増分方向は応力増分方向に依存した形で表れる。また、1cycle目と5cycle目を比較すると、繰返し回数が増すにつれ主塑性ひずみ増分方向は応力増分方向により傾いた方向となり、結果として、非共軸性の程度は繰返し回数の増加にともない増すことが

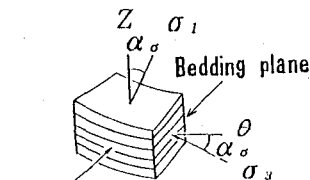
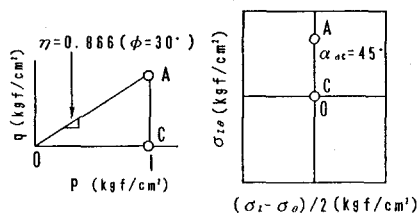
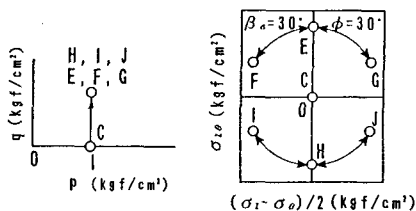


図-1 供試体要素の主応力方向



(a) 圧密経路



(b) せん断経路
図-2 応力経路

表-1 実験条件

Type	ϕ	α_σ
A	30°	45°
B	30°	135°

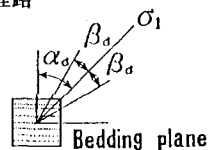


図-3 $\alpha_\sigma, \beta_\sigma$ の定義

わかる。図-4(a),(b)で示した非共軸性の程度を定量的に評価するために非共軸関数 C を導入する。この非共軸関数は、Gutierrez(1991)等によって用いられており、 $C = S_{ij} d\epsilon_{ij}^p / q d\gamma^p$ で与えられる。 $C=1$ の時、共軸を表し、 C が小さくなるほど非共軸性は増し、 C の取り得る範囲は $-1 \leq C \leq 1$ である。図-5(a),(b)は、主応力方向 α_σ - 非共軸関数 C の関係を1cycle目と5cycle目に分けて示したものである。図中に示す記号E, F, Gは、図-2(b)に示した記号に対応する。図-4と同様に、図-5(a),(b)の1cycle目と5cycle目を比較すると、1cycle目より5cycle目の方が変数 C が全体的に低下しており、繰返し回数の増加とともに非共軸性の程度は増すことがわかる。また、図-5(a)において、 135° 方向に主応力方向を繰返し変動させる試験 (Type-B) の●プロットの方が、 45° 方向に主応力方向を繰返し変動させた試験 (Type-A) の○プロットより、相対的に C が1に近い値を示していることから、異方圧密方向と同方向で主応力方向を周期的に変動させた試験の方が非共軸的であると言える。しかし、5cycle目においては、このような傾向はみられなくなる。

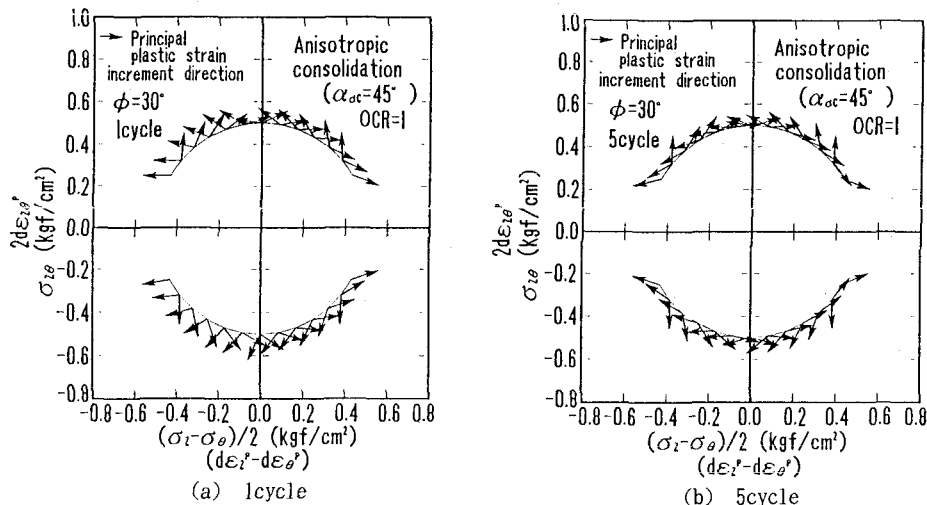


図-4 偏差応力空間における主塑性ひずみ増分方向

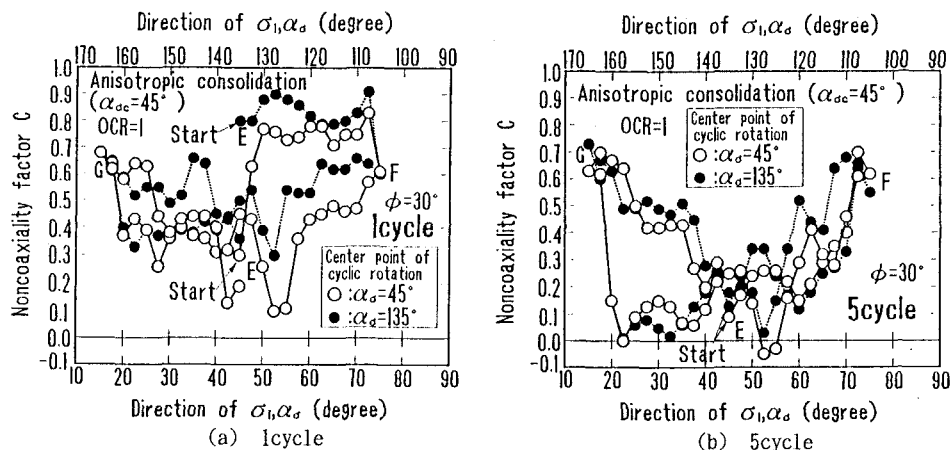


図-5 非共軸関数 C と主応力方向との関係

4) まとめ

主応力方向の繰返し変動回数の増加にともない、非共軸性の程度は大きくなる。

参考文献 1) Gutierrez, M. (1989): D. Eng. Thesis, University of Tokyo

2) K. Miura (1985): D. Eng. Thesis, University of Hokkaido

3) 安福、村田、兵動、浜田、永富 (1992): 第27回土質工学研究発表会概要集 pp. 471~474

4) 安福、村田、兵動、山本、浜田 (1993): 地盤と建設 vol. 10, No 1, pp. 83~92