

III-404

砂の非共軸性の程度に及ぼす応力増分方向の影響について

西松建設(株) 正 員 ○浜田 透

山口大学工学部 正 員 安福規之

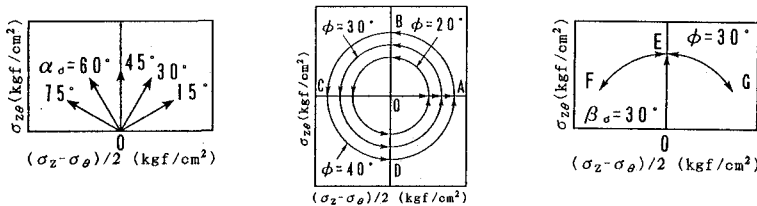
山口大学大学院 学生員 中田幸男 永島剛主

1. まえがき

著者らは、主応力方向固定或いは主応力方向回転下における異方性砂の変形特性や強度特性を実験的に検討してきている¹⁾。本研究では、今までに得られた実験結果を整理し、特に砂の非共軸性（主応力方向と主塑性ひずみ増分方向が一致しない性質）の程度に及ぼす応力増分方向の影響について検討を加えたので報告する。

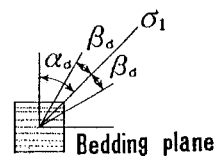
2. 試料と実験方法

実験は、中空ねじりせん断試験機を用いて行い、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。試料には、山口県秋穂町で採取された秋穂砂($G_s=2.633$, $e_{max}=0.958$, $e_{min}=0.582$)を用いた。供試体を $Dr=60\%$ を目標にして空中落下法により作成し、脱気水で飽和させた後に、平均有効主応力 $p=1\text{kgf/cm}^2$ まで等方圧密を行う。その後、半径方向応力を中間主応力 σ_2 として応力経路の異なる三種類の試験（主応力方向一定せん断試験、主応力方向回転試験及び主応力方向繰返し変動試験）を行った（図-1参照）。図-1(a)は、主応力方向一定せん断試験の応力経路を示しており、この試験は、 $p=1\text{kgf/cm}^2$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定に保ち、最大主応力 σ_1 が鉛直軸とのなす角度 α_σ （ $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ ）をそれぞれ一定に保ちせん断するものである。次いで、図-1(b)には、主応力方向回転試験の応力経路を示しており、 $p=1\text{kgf/cm}^2$, $b=0.5$ 一定で $\alpha_\sigma=0^\circ$ 方向にあるせん断応力レベル $\phi=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ までせん断し、その後、せん断応力レベルを一定に保って主応力方向を連続的に点A→点B→点C→点D→点Aと回転させる。ここで、 $\phi=\sin^{-1}((\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3))$ である。さらに、図-1(c)は、主応力方向繰返し変動試験の応力経路を示している。まず、 $p=1\text{kgf/cm}^2$, $b=0.5$ 一定で $\alpha_\sigma=45^\circ$ 方向にせん断応力レベル $\phi=30^\circ$ までせん断し、その後、せん断応力レベルを一定に保って主応力方向の変動角 $\beta_\sigma=30^\circ$ で主応力方向を点E→点F→点E→点G→点Eを1サイクルとして5サイクル繰返し変動させる。なお、本研究で行った実験は、すべてメンブレン貫入量補正、内容積変化量補正、メンブレン張力補正を行っている。



(a)主応力方向一定せん断試験 (b)主応力方向回転試験 (c)主応力方向繰返し変動試験

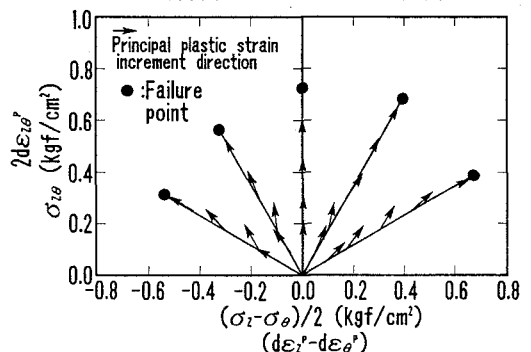
図-1 応力経路

図-2 $\alpha_\sigma, \beta_\sigma$ の定義

3. 実験結果と考察

図-3は、応力増分方向が異なる主応力方向一定せん断試験と主応力方向回転試験の応力経路と主塑性ひずみ増分方向を重ねて図示したものである。図-3(a)は 応力増分方向と主応力方向が一致する主応力方向一定せん断試験、図-3(b)は 応力増分方向が主応力方向に対して直交する主応力方向回転試験の結果を示している。両図から主塑性ひずみ増分方向は、応力増分方向に傾く傾向を示し、応力増分方向が主応力方向に対して直交する主応力方向回転試験の方が全般的に非共軸性の程度が大きいことがわかる。また、非共軸性の程度は、せん断応力レベルが低いときほど大きく、応力レベルが高くなるとその程度は小さくなることが読み取れる。さらに、非共軸性の程度を定量的に評価するために非共軸角関数 $C^{2)}$ を導入した。以下に、その計算式を示す。

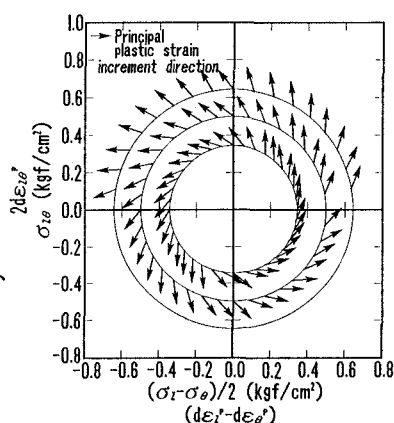
$$C = \frac{s_{ij} de_{ij}^p}{qd\gamma^p} \quad (-1 \leq C \leq 1)$$



(a)主応力方向一定せん断試験

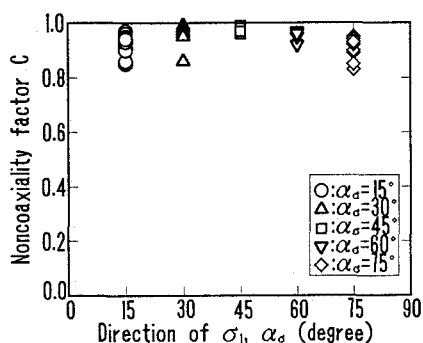
ここで、 s_{ij} :偏差応力テンソル、 de_{ij}^p :塑性偏差ひずみテンソル、 $q=(3/2s_{ij}s_{ij})^{0.5}$ 、 $d\gamma^p=(2/3de_{ij}^pde_{ij}^p)^{0.5}$ である。非共軸角関数 C は、主応力方向と主塑性ひずみ増分方向が一致する時、すなわち共軸性を満足するとき1になり、非共軸性を示す場合には-1~1の範囲で変化する。図-4は、主応力方向一定せん断試験と主応力方向回転試験の C - α 関係を示している。図-4(a)は、主応力方向一定せん断試験の結果を示しており、どの主応力方向に対しても C の値が1に近いことがわかる。一方、図-4(b)に示している主応力方向回転試験での C の値は、主応力方向の回転の初期の状態においてかなり小さく、主応力方向の回転に伴って $\alpha=40^\circ$ 辺りまで急激に大きくなりその後徐々に小さくなっていることがわかる。また、せん断応力レベルが高くなると C の値は、相対的に大きくなりより共軸的になっていることがわかる。

図-5は、主応力方向繰返し変動試験の1サイクル目と5サイクル目の C - α 関係を示している。5サイクル目の C の値の方が1サイクル目のものより小さくなっている。このことは、繰返し回数の増加に伴い非共軸性の程度が大きくなることを示唆するものである。

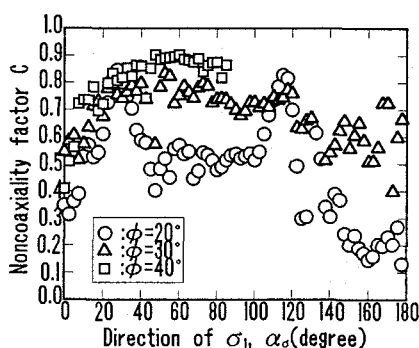


(b)主応力方向回転試験

図-3 主塑性ひずみ増分方向



(a)主応力方向一定せん断試験



(b)主応力方向回転試験

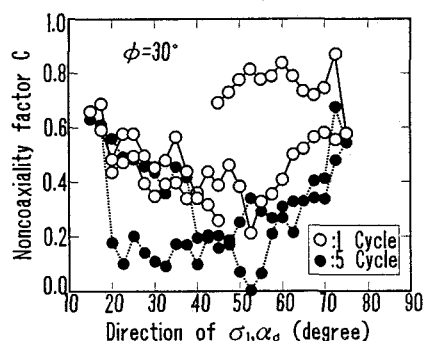
図-4 非共軸角関数と主応力方向関係

4. まとめ

- 1) 主塑性ひずみ増分方向は、応力増分方向に傾く傾向を示し、応力増分方向が主応力方向に対して直交する主応力方向回転試験の方が応力増分方向が主応力方向と一致する主応力方向一定せん断試験より全般的に非共軸性の程度が大きい。
- 2) 非共軸性の程度は、主応力方向の回転に伴って変化し、またせん断応力レベルが低いときほど大きく、応力レベルが高くなるとその程度は小さくなる。
- 3) 繰返し回数の増加に伴って非共軸性の程度は、大きくなる。

<参考文献>

- 1) 安福・村田・兵動・浜田・永富(1992): "主応力方向の変動を繰返し受けた砂の変形特性," 第27回土質工学研究発表会講演集, pp. 471-474.
- 2) Gutierrez, M., Ishihara, K. and Towhata, I. (1991): "Noncoaxiality and stress-dilatancy relations for granular materials," IACMAG

図-5 主応力方向繰返し変動試験の
非共軸角関数と主応力方向の関係