

主応力方向の変動が砂のストレス-ダイレイタンス関係に及ぼす影響

山口大学工学部 正員 安福規之 村田秀一 兵動正幸

山口大学大学院 学生員 浜田透

三井建設(株) 正員 ○沖野浩司

1. まえがき

実地盤においては、主応力方向の回転は頻繁に起こり得ることであり、このような主応力方向の回転が、地盤の変形挙動に無視できない影響を与えることが、近年指摘されている。そこで本報告では、主応力方向回転下において生じる非共軸性すなわち、主応力方向と主塑性ひずみ増分方向が一致しないという特性に特に着目し、実験的検討を行う。

2. 試験方法

1) 試験機：実験には、高さ20cm、外径10cm、内径6cmの中空円筒形供試体を有する中空ねじりせん断試験機を用いた。

2) 供試体作成方法：今回用いた試料は、秋穂砂($G_s=2.633$, $e_{max}=0.958$, $e_{min}=0.582$)である。供試体は相対密度 $D_r=60\%$ を目標として空中落下法によって作成した。メンブレンの厚さは、外、内側共に0.5mmである。

3) 実験計画：本研究においては、主応力の方向を一定に保って供試体が破壊するまでせん断する試験(Fixed Test)と、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回転させる試験(Rotation Test)の2種類を行った。全ての実験に対して、半径方向応力 σ_r を中間主応力 σ_2 とし、中間主応力係数 b は0.5を用いた。図-1と図-2に両試験の応力経路を示す。

Fixed Test は、点1 ($p=100\text{kPa}$)まで等方圧密した後、 $p=100\text{kPa}$, $b=0.5$, 最大主応力方向が鉛直軸となす角 α ($0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$)一定でせん断を行う試験である。

Rotation Testは、点1 ($p=100\text{kPa}$)まで等方圧密した後、 $p=100\text{kPa}$, $b=0.5$ 一定で $\alpha=0^\circ$ 方向にあるせん断応力レベル点2 ($\phi=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$)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2→点3→点4→点5→点2と回転させていく試験である。

尚、本研究で行った実験は、全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。

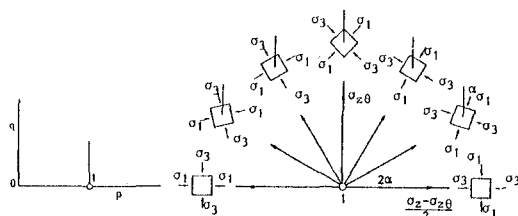


図-1 Fixed Testの応力経路

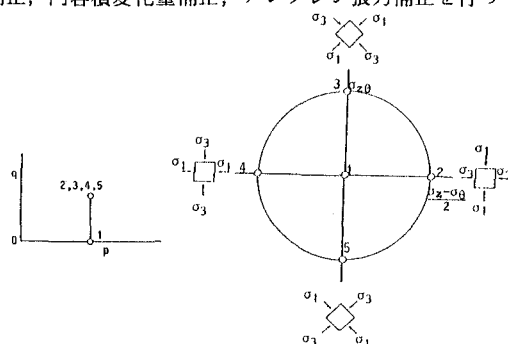


図-2 Rotation Testの応力経路

3. 実験結果と考察

1) 非共軸性：非共軸性とは、主応力方向回転下において主応力方向と主塑性ひずみ増分方向が一致しないという特性のことである。図-3は、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。(a)図はFixed Test, (b)図はRotation Testの結果をそれぞれ示している。これらの図において最大主応力方向が鉛直軸となす角 α と、最大主塑性ひずみ増分方向が鉛直軸となす角 α^p は、それぞれ水平軸正方向より 2α 、 $2\alpha^p$ の角度をなし、○印は破壊点を、矢印は主塑性ひずみ増分方向の単位ベクトルの方向をそれぞれ示し

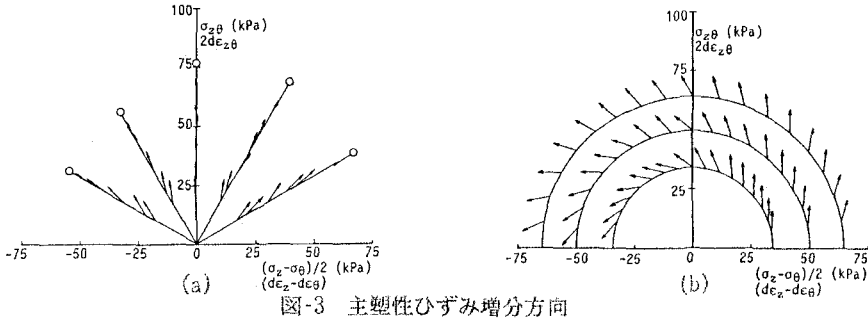


図-3 主塑性ひずみ増分方向

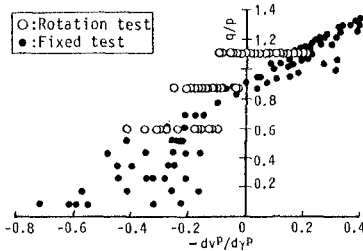


図-4 $q/p - (-dv^p/d\gamma^p)$ 関係

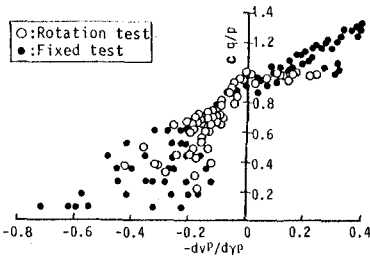


図-6 c を考慮した $q/p - (-dv^p/d\gamma^p)$ 関係

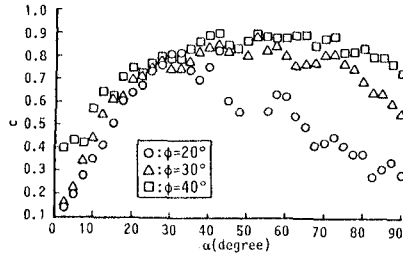


図-5 Rotation Testにおける
非共軸角関数 c と主応力方向 α の関係

ている。両図から、非共軸性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。又、非共軸性は全般にRotation Testの方が大きい。このことは、主塑性ひずみ増分方向が応力増分の方に依存することを示している。

2) ストレス-ダイレイタンス関係: 図-4は、Fixed TestとRotation Testにおける応力比-塑性ひずみ増分比関係を示したものである。Fixed Testのプロットは、ほぼ一義的であるのに対して、Rotation Testのプロットは各応力レベルでばらついている。このばらつきは、非共軸性によるものではないかと考え、その効果をストレス-ダイレイタンス関係に取り入れるために、非共軸角関数 c を導入した¹⁾。本研究において、 c は実験結果より計算したが、その定義式は消散エネルギー的な考察を行うと、次式の通り与えられる。

$$c = \frac{S_{ij} d e_{ij}^p}{q d \gamma^p}$$

ここで S_{ij} : 偏差応力テンソル $d e_{ij}^p$: 偏差ひずみテンソル q : 応力第2不変量 $d \gamma^p$: ひずみ第2不変量

図-5は、Rotation Testにおいて得られた c と α の関係を示したものであるが、非共軸性の度合いの α 依存性、応力レベル依存性が見てとれる。このようにして求められた両試験における c を、ストレス-ダイレイタンス関係に取り入れるために、図-4の縦軸を $c \eta$ で書き換えたものが図-6である。この図から、非共軸項 c を導入することによって両試験のプロットともほぼ一義的な関係となることがわかる。

4. まとめ

主応力方向回転下において、ストレス-ダイレイタンス関係にはばらつきが見られたが、これに非共軸角関数 c を導入することによって、ほぼ一義的な関係が認められた。

参考文献 1) M. Gutierrez, K. Ishihara and I. Towhata: Noncoaxiality and Stress-Dilatancy Relation for Granular Materials, (IACMAG 1991)