

主応力方向回転時の砂の排水繰返し挙動について

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
下関市役所 永富晋一

1. まえがき

地震、波浪、交通荷重などの外力を地盤が受けると、地盤内要素では主応力の大きさや方向が繰返し変動することが知られている。これまでに主応力回転下での砂の変形挙動を調べた研究は、比較的多く行われているが¹⁾、排水条件下において主応力方向の変動を繰返し受けた砂の変形挙動を系統立てて説明した研究は、重要にもかかわらず少ない。本報告は、このような観点から主応力方向の変動を繰返し受けた砂の変形特性を(Ⅰ)主応力方向の変動角の違い(Ⅱ)主応力方向の変動を与える応力レベルの違い(Ⅲ)主応力方向の変動を与える中心位置の違いに着目し、実験的に検討したものである。

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、平均有効主応力 $p=100\text{kPa}$ まで等方圧密した。圧密終了後、 $p=100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定、最大主応力が鉛直軸となす角度 α を固定して、ある応力レベル ϕ まで排水せん断を行った。その後、排水条件下で応力レベル ϕ を固定して主応力の方向を変動角 β で変動させた。主応力方向の変動は、図-2に示しているように $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A$ を1サイクルとして5サイクルまで行った。本実験では、精度をあげるためにメンブレン貫入量補正とメンブレン張力補正を行っている。本文で用いた主要なひずみパラメータ γ と ε_v の定義を、以下に示す。

$$\gamma = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

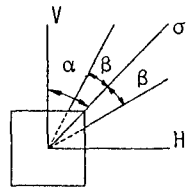
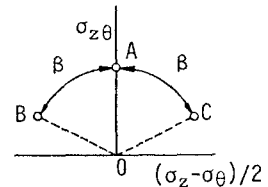
図-1 β と α の定義

図-2 応力径路

3. 実験結果と考察

3. 1. 変動角の違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響

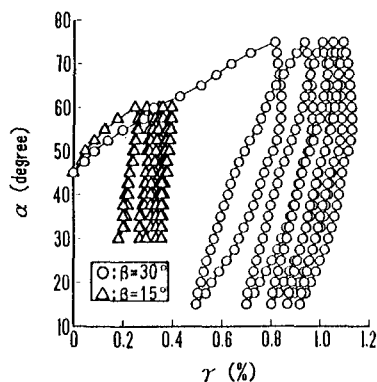
図-3(a), (b) は、変動角 $\beta=15^\circ, 30^\circ$ での主応力方向-せん断ひずみ、主応力方向-体積ひずみ関係を示している。両ひずみは、主応力方向の繰返しに伴いひずみが蓄積していく傾向がみられる。特に1サイクル目に大きなひずみを生じ、その後2, 3, 4, 5 サイクルになるに連れてその生じ方は小さくなる傾向にある。また変動角 $\beta=30^\circ$ と変動角 $\beta=15^\circ$ を比較すると $\beta=30^\circ$ のほうが、明らかに大きなひずみが生じることがわかる。

3. 2. 応力レベルの違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響

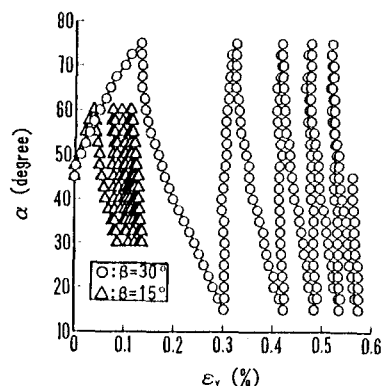
図-4(a) は、異なる応力レベル $\phi=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ での主応力方向-せん断ひずみ関係を示している。応力レベル $\phi=40^\circ$ の結果は、 $\phi=20^\circ, 30^\circ$ の結果と比較すると非常に大きいひずみを生じている。図-4(b) は、異なる応力レベル $\phi=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ での主応力方向-体積ひずみ関係を示している。 $\phi=20^\circ$ と $\phi=30^\circ$ の結果では、体積ひずみが繰返し回数の増加にともない収縮一方の挙動を示し、 $\phi=30^\circ$ の結果は、 $\phi=20^\circ$ に比べると大きいひずみが生じている。一方 $\phi=40^\circ$ の結果では、回転初期には膨張傾向を示すが、主応力方向反転後、収縮挙動を示し、繰返し回数の増加にともない正の体積ひずみが蓄積して行く。

3. 3. 変動の中心位置の違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響

図-5(a), (b) は、異なる変動の中心位置 $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ での主応力方向-せん断ひずみ関係、主応力方向-体積ひずみ関係を示している。せん断ひずみと体積ひずみの両方において、変動の中心位置の増加、すなわち最大主応力の方向が鉛直軸となす角度の増加にともない大きなひずみが生じている。この主要な理由として、砂の構造異方性があげられる。

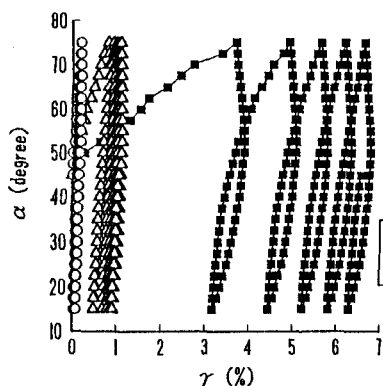


(a)主応力方向—せん断ひずみ関係

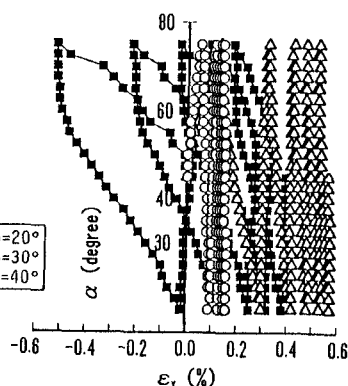


(b)主応力方向—体積ひずみ関係

図-3 変動角の違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響

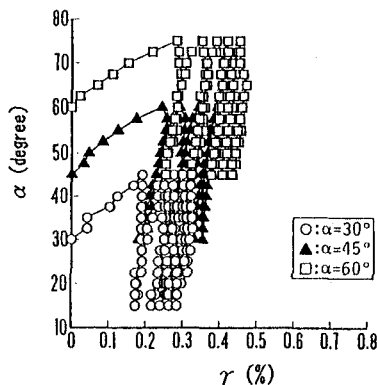


(a)主応力方向—せん断ひずみ関係

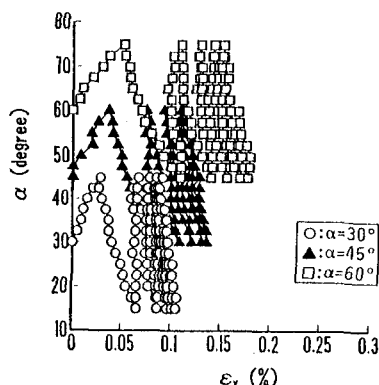


(b)主応力方向—体積ひずみ関係

図-4 応力レベルの違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響



(a)主応力方向—せん断ひずみ関係



(b)主応力方向—体積ひずみ関係

図-5 変動の中心位置の違いが応力ひずみ関係に及ぼす影響

4. まとめ

応力レベル一定で主応力方向を繰返し回転させる実験では、変動角 α の増加に伴いせん断ひずみ、体積ひずみは、大きく生じ、また両ひずみは、応力レベルの影響を受け、特に変相応力比を越える高い応力レベルでは、大きなひずみを生じる。さらに両ひずみは、構造異方性の影響を受ける。

参考文献

1)Gutierrez, M. (1989): Behavior of sand during rotation of principal stress directions, D. Eng. Thesis, University of Tokyo