

主応力方向繰返し変動中の砂の応力ひずみ関係

山口大学工学部 正 員 中田幸男 村田秀一 兵動正幸
山口大学大学院 学生員 ○板倉志保美 吉村正芳

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。著者ら¹⁾は、これまで排水条件下での主応力方向繰返し変動下の砂の変形特性を把握するための実験的な検討を行ってきた。その結果、砂は主応力の繰返し変動によりせん断変形を生じることを明らかにしてきた。本報は、空中落下法で作成された飽和砂供試体を用いて非排水条件下での主応力方向の繰返し変動に対する応力ひずみ関係を実験的に明らかにしたものである。

2. 試料および実験方法

用いた試験機は自動制御・計測可能な中空ねじりせん断試験機²⁾である。用いた試料は秋穂砂であり、中空円筒形供試体は、高さ 20cm、内径 6cm、外径 10cm で相対密度 $Dr=60\%$ を目標に空中落下法により作成した。実験は、スケンプトンの過剰間隙水圧係数 B 値が 0.96 以上となったものに対して行った。図-1 は、供試体に作用する外力、供試体内の要素および要素に作用する応力を模式的に示したものである。本研究では、鉛直軸と σ_1 方向とのなす角 α_o (主応力方向角) を用いて結果の整理を行っている。試験に用いた主な応力ひずみパラメーターは、平均有効主応力 $p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3}$ と軸差応力 $q = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma'_1 - \sigma'_2)^2 + (\sigma'_2 - \sigma'_3)^2 + (\sigma'_3 - \sigma'_1)^2 \}}$ および軸差ひずみ $\gamma = \sqrt{\frac{2}{9} \{ (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 \}}$ である。

圧密は、所定の主応力方向および応力比を保ったまま 100kPa まで平均有効主応力 p' を増加させることで行われる。主応力方向の繰返し変動経路は図-2 に示すように、 α_{oc} を変動の中心となる主応力方向角として、 $\sigma_{z\theta} - (\sigma_z - \sigma_\theta)/2$ 空間で原点を中心とする扇形の弧に沿う経路で、主応力の方向を変動角 α_{ocyc} で変動させる。ここで、変動経路の繰返し回数は、 $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A$ を 1 回としている。ここでは、変動時の軸差応力(扇形の弧の半径に対応)、変動の中心となる主応力方向角(α_{oc})の違いに着目して考察する。

3. 実験結果と考察

図-3 は、繰返し変動中の軸差応力の違いが応力ひずみ挙動に与える影響を示すものであり、図-3(a) は $q-p'$ 関係における有効応力経路を示している。図中には、等方圧密後主応力方向一定でせん断した主応力方向固定試験³⁾ から得られた変相時の応力比(PT)およびピーク時の応力比(Peak)の取り得る範囲をそれぞれ破線及び実線で併せて示している。いずれの試験においても平均有効主応力は主応力方向の繰返し変動とともにピーク応力比(Peak)付近まで減少している。ピーク応力比に達する繰返し回数は $q=86.6\text{kPa}$ で 1 回、 $q=52.0\text{kPa}$ で 7 回と異なっている。図-3(b) は、軸差ひずみ γ と主応力方向角 α_o との関係を示したものである。 $q=86.6\text{kPa}$ の軸差ひずみは繰返し回数 1 回目で 1.5% と最も大きく生じ、その後の繰返し回数の増加とともに増加する割合が減少している。 $q=52.0\text{kPa}$ の軸差ひずみは、繰返し回数 4 回までで 0.5% 程度しか生じていないが、変相時の応力比に達した 5 回目では 0.5% 生じている。

図-4 は、変動の中心となる主応力方向角の違いが応力ひずみ挙動に与える影響を示すものであり、図-4(a) は α_o-p' の有効応力経路を示している。いずれの試験においても平均有効主応力は主応力方向固定試験から得られたピーク線(Peak)付近まで減少している。しかし、繰返し回数 1 回で生じる過剰間隙水圧は、 $\alpha_{oc}=0^\circ$ で 20kPa、 $\alpha_{oc}=90^\circ$ で 40kPa と 2 倍の差があることがわかる。図-4(b) は、 $\gamma-\alpha_o$ 関係を示したものである。軸差ひずみの生じ方は、 $\alpha_{oc}=0^\circ$ では繰返し回数 5 回目までで 0.5%、 $\alpha_{oc}=90^\circ$ では繰返し回数 1 回で 0.7% であるが、 $\alpha_{oc}=0^\circ$ の 6 回目では 0.4%、 $\alpha_{oc}=90^\circ$ の 2 回目では 2% となっている。つまり、いずれの結果に

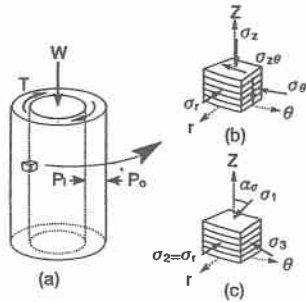


図-1 供試体要素

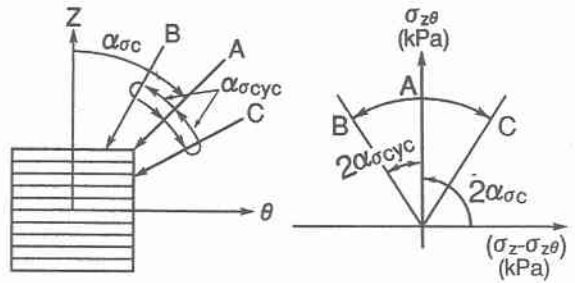


図-2 主応力方向繰返し変動経路

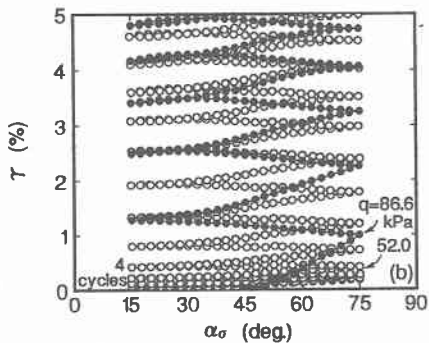
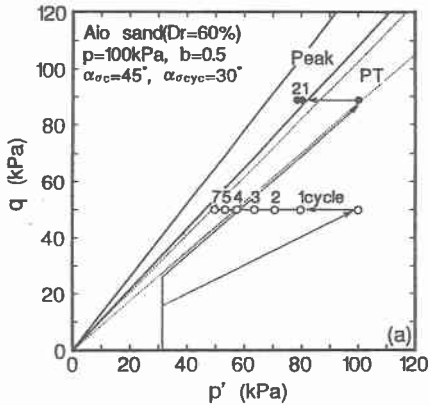


図-3 変動中の軸差応力 <math>q</math> の違い

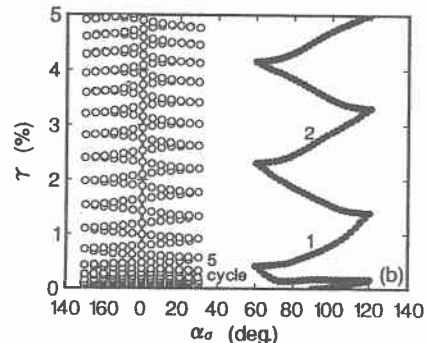
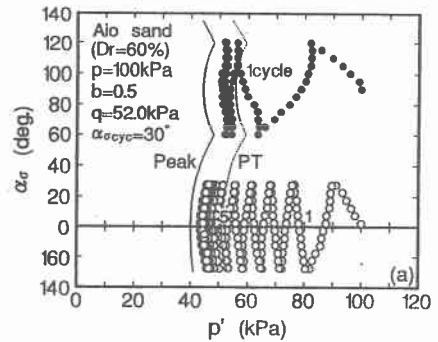


図-4 変動の中心となる主応力方向角 <math>\alpha_{\sigma c}</math> の違い

おいても、変相線(PT)に達した後に軸差ひずみが急増していることがわかる。

4. まとめ

本研究では、主応力方向の繰返し変動が砂の応力ひずみ関係に与える影響について考察を行った。その結果、主応力方向繰返し変動中の軸差応力や変動の中心となる主応力方向角の違いによって、過剰間隙水圧や軸差ひずみの生じ方が異なることがわかった。特に、軸差ひずみの急増は主応力方向繰返し変動時の径路によらず、主応力方向固定試験から得られた変相状態に到達した付近から起こることを明らかにした。

<参考文献>1) 永島・安福・浜田・兵動・村田(1993), 第28回土質工学研究発表会, 2分冊の1, pp571-574 2) 中田・山本・安福・村田・兵動(1994), 土木学会論文集, No. 505/III-29, pp329-332 3) 中田・安福・村田・兵動・永島(1995), 土木学会論文集3月号