

粘性土の非排水強度に与える異方圧密の影響

長岡技術科学大学 正会員 中村 公一
 長岡技術科学大学 正会員 豊田 浩史
 長岡技術科学大学 宇野 忠浩

1. はじめに

わが国に広くみられる飽和沖積粘土地盤においては、原位置から採取した試料の一軸圧縮強度（非排水強度）を設計に用いることが多い。また、斜面の崩壊を考えたとき、せん断方向は崩壊位置において変化するため、強度異方性の影響を受けることは周知の事実である。しかしながら、試験で異方圧密された粘性土の非排水強度がどのように変化するかは、限られた条件でしか検討されていない。そこで、本研究では中空ねじりせん断試験装置を用い、様々な方向に対して異方圧密である K 一定圧密を行い、強度異方性が非排水強度に与える影響について検討を行った。

2. 試験方法、試験条件

試料は、新潟県柏崎市米山付近より採取した粘性土（ラテライト系粘土）を用いた。この米山粘性土の物性値は、土粒子密度 $\rho_s = 2.746(\text{g/cm}^3)$ 、塑性指数 $I_p = 22.5(\%)$ 、粘土 23.6(%)、シルト 57.0(%)、砂 19.4(%) である。そして、応力履歴を明確にするため、気乾状態の試料に蒸留水を加えてスラリー状にした後脱気して、試料圧密器により 50kPa の圧力で予圧密した。その後、その土塊を外径 80mm、内径 50mm、高さ 160mm の中空円筒形に成形し、中空ねじりせん断試験装置にセットした。供試体の飽和には二重負圧法を用いた。

実地盤の応力状態を再現するため、静止土圧係数 K_0 を一定に保持しながら圧密する。以下、この圧密方法を K 一定圧密と呼ぶ。本研究では供試体への応力履歴を明確にするため、 K_0 圧密された供試体の作製には以下のような手順を経た。この手順を図 1 に示す。予備圧密時の有効応力から p' 一定（=50kPa）のせん断を行い、任意の K 値に達したら K 一定圧密に制御を切り替え、所定の平均有効主応力（=300kPa）まで圧密する（図 1, K consolidation）。 K 値には三軸試験より求めた $K_0 = 0.43$ を用い、圧密時の最大主応力方向 $\alpha_c = 45(\text{deg})$ 、中間主応力係数 $b_c = 0$ に固定して行った。 K 一定圧密後、非排水条件で等方応力状態（200kPa）まで除荷し（図 1, unload）、せん断時の最大主応力方向 α_s 、中間主応力係数 b_s を変化させて非排水せん断を行った（図 1, Shear）。試験条件は、圧密時は上記の通りであり、せん断時は最大主応力方向を $\alpha_s = 45, 22.5, 0, -22.5, -45(\text{deg})$ それぞれにおいて $b_s = 0, 0.5, 1.0$ の条件で行った。また二次元問題として、せん断載荷過程において半径方向ひずみ ε_r を生じさせず、非排水せん断試験を行う非排水平面ひずみ試験も行った。試験条件は、最大主応力方向を $\alpha_s = 45, 22.5, 0, -22.5, -45(\text{deg})$ として行った。

3. 試験結果

(1) 最大主応力方向 α が及ぼす影響

せん断載荷時の試験条件の中間主応力係数を $b_s = 0$ と固定し、最大主応力方向 α_s の変化に伴う非排水強度への影響を考察する。

α_s を任意の値、 $b_s = 0$ に固定して行った試験結果を図 2、図 3 に示す。図 2 より、 K 一定圧密過程とせん断載荷過程における最大主応力方向が一致している $\alpha_c = \alpha_s = 45(\text{deg})$ の場合が最も q が大きく、 α の差が大きいほど強度は小さくなる傾向を示している。

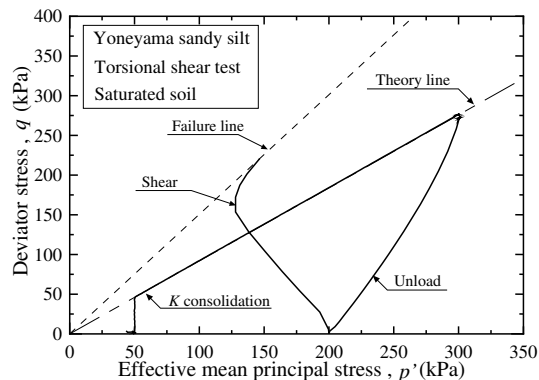
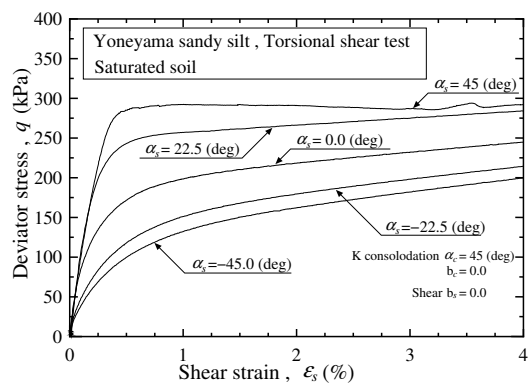
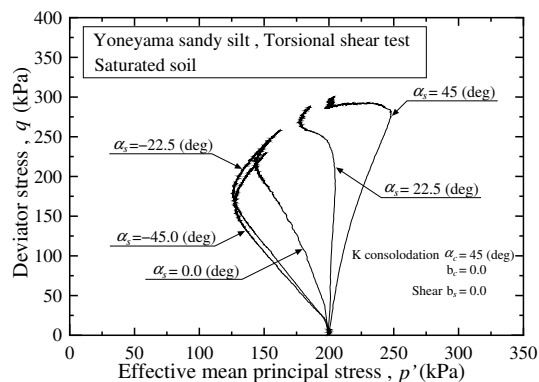


図 1 実験手順

図 2 偏差応力－せん断ひずみ関係 ($b_s = 0$)図 3 応力経路 ($b_s = 0$)

次に図3を見ると、せん断载荷過程における最大主応力方向 α_s が変化するに伴い、応力経路にも影響を与えていることがわかる。 α_c と α_s が一致したとき変相点の q が最大となり、負の過剰間隙水圧が発生している。また、 α_c と α_s が異なっていくと変相点の q も小さくなっていき、正の過剰間隙水圧が発生する傾向を示す。この中で、 $\alpha_s = -22.5$ と $-45(\text{deg})$ のケースにおける過剰間隙水圧の発生量は、ほぼ同程度である。しかし、変相点の q は 10kPa 程度ではあるが差異が見られる。 K 一定圧密過程とせん断時の最大主応力方向 α_c と α_s の差が $67.5(\text{deg})$ 以上大きくなる場合、変相点と過剰間隙水圧の発生量に大きな差は見られなくなるものと考えられる。

非排水平面ひずみ試験の試験結果も、同様の傾向が確認できた。また、せん断中の中間主応力係数は約 $b_s = 0.25$ 前後であった。

(2) 中間主応力係数 b が及ぼす影響

ここではせん断载荷時の試験条件の最大主応力方向を $\alpha_s = 45(\text{deg})$ に固定し、中間主応力係数 b_s の変化に伴う非排水強度への影響を考察する。

図4、図5より、 K 一定圧密過程とせん断载荷過程の中間主応力係数が一致している $b_c = b_s = 0.0$ の時、最も大きな非排水強度（変相点）を示し、 K 一定圧密過程とせん断载荷過程の中間主応力係数の差が最も大きい $b_s = 1.0$ の時、変相点は最も小さくなる。応力経路からわかるように、これらの挙動は過剰間隙水圧の発生と密接な関係がある。

(3) α と b が非排水強度に及ぼす影響

非排水強度は、応力経路における変相点（偏差応力 q ）とした。整理方法は、全ケースの中で非排水強度が最大となる $\alpha_s = 45(\text{deg})$ 、 $b_s = 0.0$ のケースにおける非排水強度を 1.0 とし、各ケースにおける非排水強度比を算出しプロットしたものが図6、図7である。横軸に $\alpha' = |45 - \alpha_s|$ (K 一定圧密過程とせん断载荷過程における最大主応力方向差の絶対値)をとったものを図6、横軸に $b' = |1 - b_s|$ (K 一定圧密過程とせん断载荷過程における中間主応力係数差の絶対値)をとったものを図7にそれぞれ示す。また、各図に非排水平面ひずみ試験の試験結果も示した。図6、図7より、最大主応力方向差 α' および中間主応力係数差 b' が大きくなるほど非排水強度が小さくなっていることを確認できる。また、非排水平面ひずみ試験結果もほかの試験結果と一致した傾向であることがわかる。

4. まとめ

- 1) 中空ねじりせん断試験において、様々な方向に K_0 圧密や K 一定圧密を行い、強度異方性の影響を調べることを可能にした。
- 2) せん断载荷過程における最大主応力方向 α_s は、せん断载荷過程における応力経路に影響を与える。その傾向は、 K 一定圧密過程における最大主応力方向 $\alpha_c = 45(\text{deg})$ との差が大きくなるのに伴い、発生する過剰間隙水圧は大きくなり、非排水強度（変相点）は小さくなる。非排水平面ひずみ試験においても同様の傾向を確認できた。
- 3) せん断载荷過程における中間主応力係数 b_s は、せん断载荷過程における応力経路に影響を与える。その傾向は、 K 一定圧密過程における中間主応力係数 b_c との差が大きくなるにしたがい、発生する過剰間隙水圧は大きくなり、非排水強度（変相点）は小さくなる。

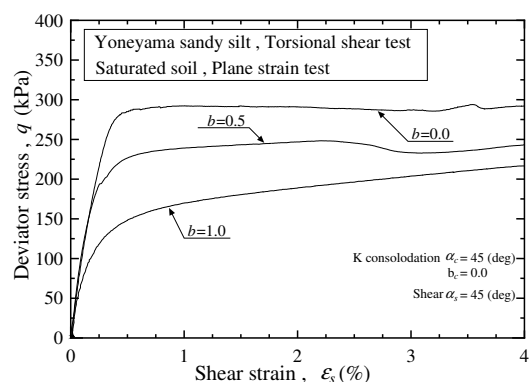


図4 偏差応力-せん断ひずみ関係 ($\alpha_s = 45\text{deg}$)

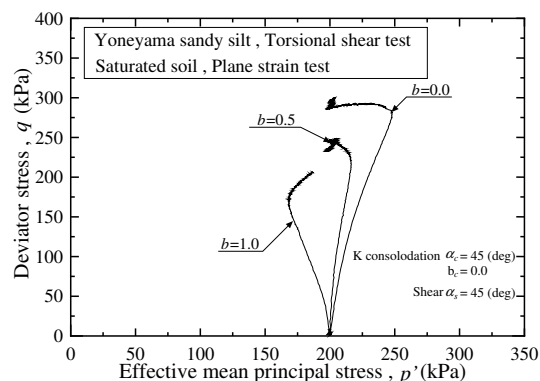


図5 応力経路 ($\alpha_s = 45\text{deg}$)

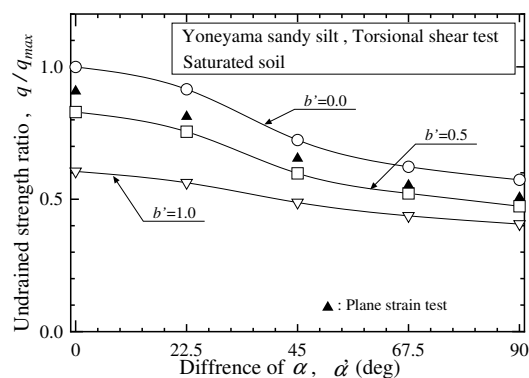


図6 最大主応力方向の影響

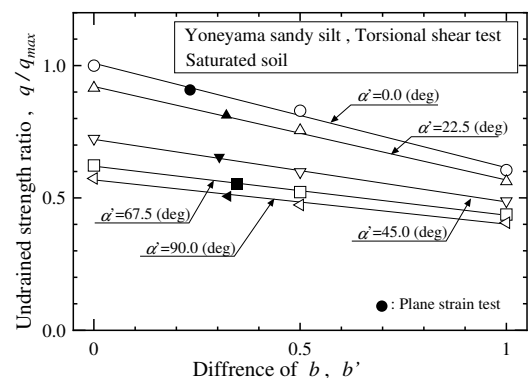


図7 中間主応力係数の影響