

粘性土の変形特性に与えるせん断ひずみ速度の影響

環境社会基盤工学専攻 地盤工学研究室 篠原 雅幸
指導教員 豊田 浩史

1. はじめに

近年、粘性土の沈下をアイソタック則によって解釈する試みが広く注目されており、粘性土の二次圧密特性にはアイソタック則が適用出来ることが多い。アイソタック則とは、Figure.1のように、応力-ひずみ関係は、ひずみ速度の影響を受けて一義的に決められるというものである。例えば、土の粘性の影響を受けて、ひずみ速度が大きいほど大きな荷重を支えられると考えられる。

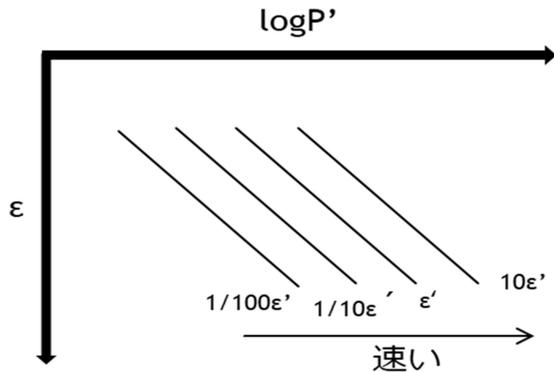


Figure 1 アイソタック則に基づく ϵ と p' の関係

しかしながら、粘性土のせん断変形時において、どの程度アイソタック則が適用できるかは、未だ不明確なところも多い。そこで、本研究では、中空ねじりせん断試験装置を用いて、せん断中の中間主応力および平均応力を一定の条件のもと、様々なせん断速度の非排水せん断試験を行った。その結果をもとに、応力-ひずみ関係や最大偏差応力に与えるせん断速度の影響について、どの程度アイソタック則が適用できるか評価することを研究目的とした。

2. 試験概要

2.1 試験装置

本試験機は中空円筒供試体にトルクを加えてねじることにより、円周方向にせん断力を作用させることを主な目的とした直接型せん断試験の一種である。三主応力を制御するため、中空円筒供試体の外側と内側はメンブレンで包まれており、異なった側圧を載荷することが可能である。このように制御できる応力が多いことから、複雑な応力条件下で、土の基本的な力学挙動を明らかにすることが可能である。

2.2 試験材料

本研究に用いた試料は、新潟県柏崎市米山付近で採取した練り返し粘土（以下では、米山粘性土と称する）であり、本試験では、気乾状態で $840\mu\text{m}$ ふりを通過した試料のみを使用した。以下に米山粘性土の物理特性を示す。

Table 1 米山粘性土の物性値

密度 ρ_s (g/cm^3)	2.746
液性限界 W_L (%)	52.4
塑性限界 W_p (%)	29.9
塑性指数 I_p	22.5
Clay (%)	23.6
Silt (%)	57.0
Sand (%)	19.4

この試料をスラリー状にしたものを試料圧密器に入れ脱気し、圧密したものを成形し、高さ 16cm、外形 8cm、内径 5cm の供試体を作製した。

2.3 試験方法²⁾

作製した供試体を試験機にセットし二重負圧を行ない供試体の飽和度を高めた。この原理は供試

体内部に残存している空気を追い出し、側圧を負圧にして脱気水を通すことにより、飽和度を高める方法である。その後供試体を安定させるためにセル圧を 50kPa にして圧密させ、排水量が落ち着くまで予備圧密を行う。その後飽和度の確認をした後、自動制御により拘束圧を上げて等方圧密を行なう。本試験では、正規圧密 (OCR=1) では $p'=50\text{kPa}$ から $p'=300\text{kPa}$ まで圧密を実施する。安定させた後、ねじりせん断試験を行う。過圧密の場合は $p'=600\text{kPa}$ まで圧密したのち $p'=300\text{kPa}$ (OCR=2) あるいは $p'=100\text{kPa}$ (OCR=6) まで除荷したのちにせん断試験を行った。

3. 試験結果

ねじり速度を 0.01(deg/min) のケースで、試験の再現性の確認を行った。その後、正規圧密 (OCR1.0) でねじり速度の条件を 10(deg/min), 1(deg/min), 0.1(deg/min), 0.01(deg/min) 0.001(deg/min) として試験を行った。さらに過圧密のケースとして OCR=2, 6 の条件でも非排水せん断試験を行った。以下の Figure2, Figure3 に、それぞれ正規圧密 (OCR=1) のケースの応力経路と応力ひずみの結果について示す。さらに過圧密比 2.0 及び 6.0 の試験結果についても同様に、Figure4~Figure7 に示す。Figure 2 よりせん断過程においてねじり速度が速いほど過剰間隙水圧の発生が小さく、 p' の減少が小さい傾向があった。さらに Figure 3 より正規圧密 (OCR=1) の飽和粘性土の非排水せん断試験において、1%以下のせん断ひずみ部分においてはアイソタック則が確認でき、ひずみ速度が速いほど偏差応力が大きくなることが分かった。これは、土の粘性特性以外でも、有効応力の差で、偏差応力に差が出たと説明ができる。せん断ひずみが進行し、1%を超えるとアイソタック則の傾向は見られなくなり最大偏差応力はほぼ同じ値に収束している。

OCR=2 のケースにおいても正規圧密 (OCR=1) のケースと同様の傾向がせん断ひずみ 1.5%以下

の部分で見られた。しかしながら、ひずみ速度が小さい方が、有効応力が大きい傾向を示しており、有効応力の変化からは、この現象は説明できない。ひずみ速度が大きくなると、供試体内の正確な間隙水圧が測定できていない可能性もある。

OCR=6 のケースにおいてはせん断ひずみが 2%を超えても、アイソタック則を確認できる結果となった。OCR=2 のケースと同様、測定された有効応力では、この現象は説明できず、土の粘性特性が現れた結果であると言える。

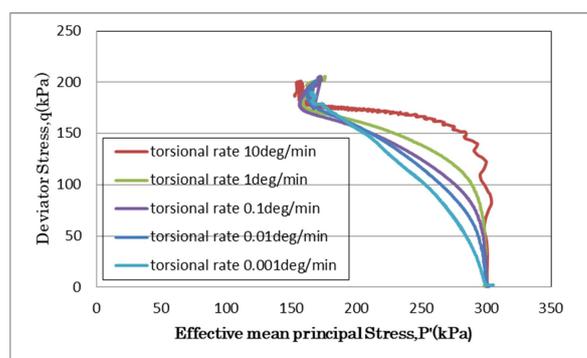


Figure 2 応力経路 (OCR=1)

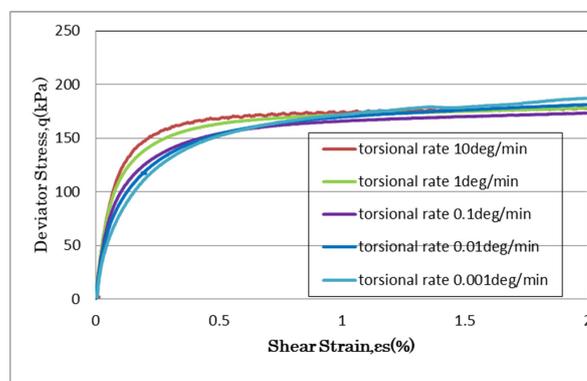


Figure 3 応力ひずみ曲線 (OCR=1)

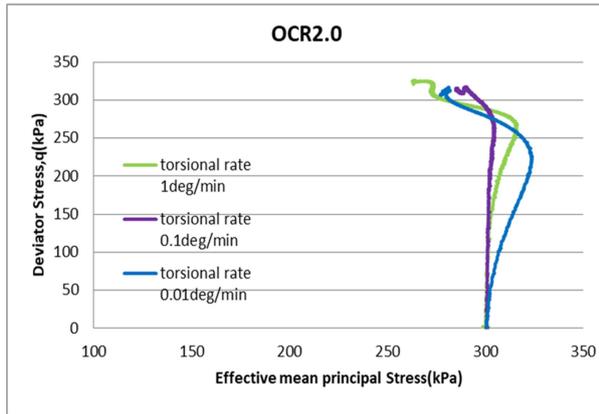


Figure 4 応力経路 (OCR=2)

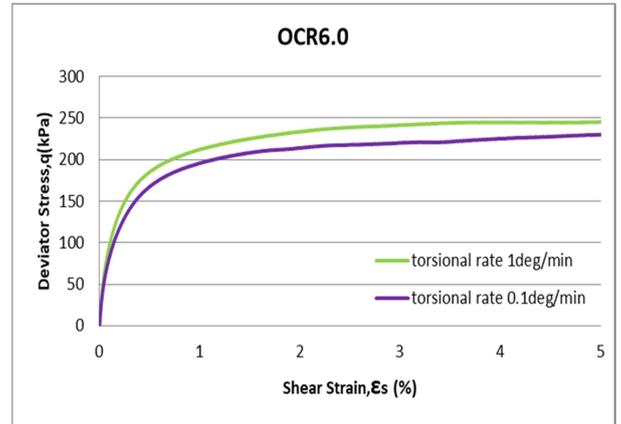


Figure 7 応力ひずみ曲線 (OCR=6)

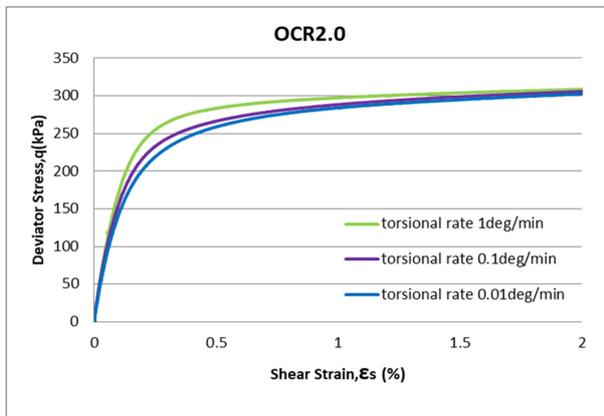


Figure 5 応力ひずみ曲線 (OCR=2)

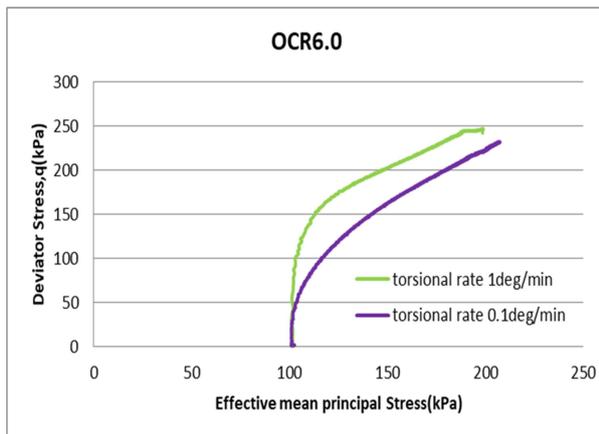


Figure 6 応力経路 (OCR=6)

4. 割線せん断剛性

試験結果より、初期のせん断ひずみ部分においてはアイソタク則がみられるため、その部分に着目し、最大偏差応力の半分の値 q_{50} (kPa) の時のせん断ひずみ ϵ_s の値を用いて、割線せん断剛性 G_{50} を求めた。割線せん断剛性の算出には、正八面体せん断剛性式を用いた。Figure 8 に、同じ初期平均有効応力で実験を行った、正規圧密 (OCR=1) と過圧密 (OCR=2) のケースにおいて求めた割線せん断剛性とねじり速度の関係について示す。Figure 8 より、割線せん断剛性は、OCR=1, 2 のケースとも、ひずみ速度の対数に比例して大きくなることが分かった。

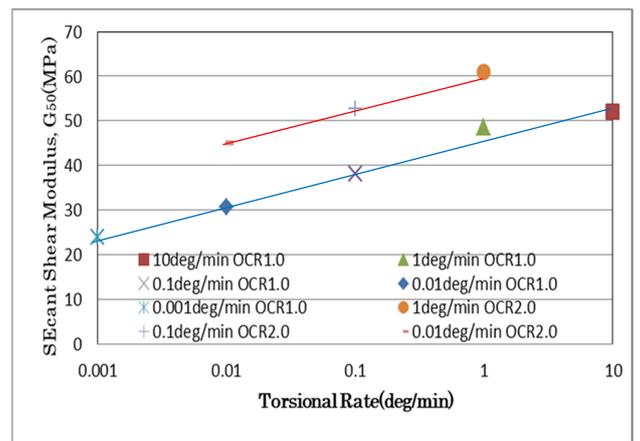


Figure 8 G_{50} – Torsional Rate 関係

5. 結論

正規圧密 (OCR=1) の飽和粘性土の非排水せん断試験において、1%以下のせん断ひずみ部分においてはアイソタック則が確認でき、ひずみ速度が速いほど偏差応力が大きくなることが分かった。しかし、せん断ひずみが進行し1%を超えるとアイソタック則の傾向は見られなくなる。

過圧密 (OCR=2) の飽和粘性土の非排水せん断試験においても、正規圧密状態と同じアイソタック則の現象が1.5%以下のせん断ひずみ領域において見られた。

(OCR=6) の飽和粘性土の非排水せん断試験では、せん断ひずみが2%を超えてもアイソタック則を確認できた。

以上より、飽和粘性土の非排水せん断において、ひずみの小さいところでは、アイソタック則が存在し、アイソタック則が存在するひずみは、粘性土の過圧密化にともない、大きくなる傾向があるといえる。

6.参考文献

- 1) 田中洋行, 林宏親(2013), 泥炭地盤に対するアイソタック則の適用性, 地盤工学ジャーナル Vol.9, No.2, 275-286.
- 2) 武田成史(2013), 不飽和粘性土の強度特性に及ぼすせん断速度の影響, 平成25年度長岡技術科学大学修士論文.