

粘性土の強度・変形特性に与えるひずみ速度の影響

長岡技術科学大学大学院 ○高橋 宏希
長岡技術科学大学大学院 正会員 豊田 浩史
長岡技術科学大学大学院 高田 晋
長岡技術科学大学大学院 VO NGOC BAU

1. はじめに

アイソタック則を用いて粘性土の沈下を解釈しようとする試みが注目されている。図-1 よりひずみ速度が大きくなるほど、応力の対数-ひずみ関係が右側に移動する。このことから、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受けることができると言える。このようなひずみ速度依存をアイソタック則という。しかし、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を適用できるかは解明されていない。このことから、本研究では中空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主応力が一定のもとで、せん断速度を変化させた粘性土の非排水圧密せん断試験(CU 試験)を行った。その結果を用いて、粘性土の応力-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、どのようなアイソタック則を適用できるか議論することを今回の目的とする。

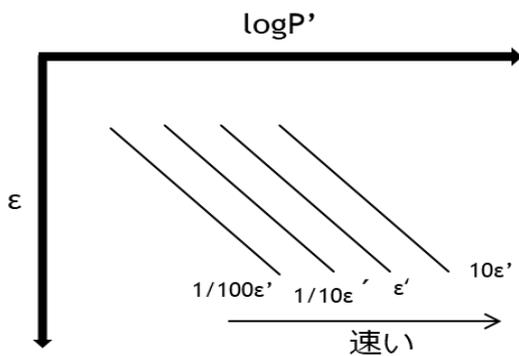


図-1 アイソタック則に基づく ϵ と $\log P'$ の関係¹⁾

2. 試験内容

2.1 中空試験装置について

本研究では、粘性土のせん断速度による応力-ひずみ関係や最大せん断応力の影響を調べるために中空ねじり試験装置(図-2)を用いた。この試験装置は中空円筒供試体に回転力(以下、トルク)を加えて円周方向にねじることにより、供試体全

体にせん断変形を与えることができる。このことにより、一般的な三軸圧縮試験機と比較して原地盤での応力・変形条件を忠実に再現することが可能である。また、他の直接型せん断試験と比較しても、平均的な応力を計算することにより、主応力の大きさおよび方向を容易に求めることができる。

このことから三軸試験や他の試験に比べ、その土が置かれていた応力状態をより正確に再現することが可能であるが、試験方法や供試体作製方法、載荷方法は複雑になる。

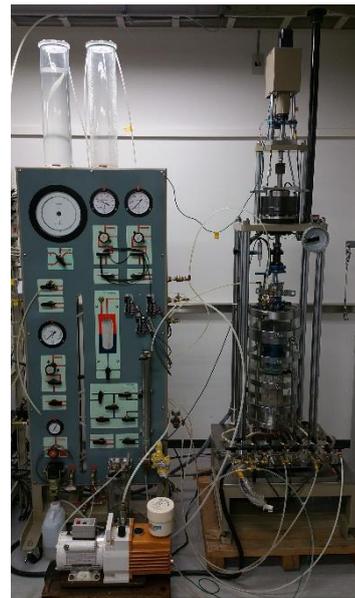


図-2 中空ねじり試験機

2.2 試験試料

本研究で用いた試料は、新潟県柏崎市米山付近で採集した粘土(以下米山粘性土と称する)を用いた。この米山粘性土のうち、 $840\mu\text{m}$ のふるいを通過した試料のみを試験に用いた。米山粘性土の物性値を表-1に示す。

表-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

中空ねじり試験機で用いる際の供試体の作製方法について述べる。まず初めに、米山粘性土を 1300g、蒸留水を 700g でかき混ぜ、一晩置くことで試料をスラリー状にする。次にこの試料を試料圧密機にいれ、真空脱気を行う。その後図-3 のようにピストンで圧縮することで圧密した。この流れにより作製した供試体を図-4 に示す。これを高さ 16cm、外径 8cm、内径 5cm に成形して、試験装置に設置した。



図-3 圧密の様子

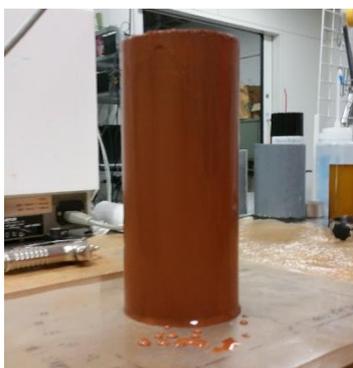


図-4 完成した供試体

2.3 試験方法

試験の流れを述べる。初めに 2.2 の方法で作製した供試体を試験機にセットした。セルを組み立て、セルに給水した後、供試体を飽和させるために二重負圧および通水を行った。二重負圧とは供試体内部から空気を追い出すことを目的として供試体内部に真空を供給する方法である。この際、供試体の変形を極力防ぐために、供試体外部には供試体内部にかけている真空よりやや大きめの真空をかけている。この二重負圧を開始してしばらく時間がたった後、二重負圧の状態脱気水を供試体に通す通水を行った。通水終了後、供試体を安定させることを目的にセル圧を 50kPa にして等方予備圧密を行った。この等方予備圧密は排水量が落ち着くまで行った。二重負圧や通水、等方予備圧密により供試体の寸法が変化しているため、等方予備圧密後にセルの水を抜き、供試体の寸法を測定した。その後、二重セルを組み立て、二重セル内にも給水した。その後、200kPa の背圧を作用させた。そして圧密を行った後、せん断試験を行った。過圧密のケースの場合は、圧密後に除荷を行い、その後せん断試験を行った。

3. 試験結果

3.1 正規圧密における結果

まず初めに、試験の再現性を確認するために、ねじり速度を 0.01(deg/min)にしたねじり試験を行った。図-5 に結果を示すが、十分に再現性があることが確認できる。

再現性が確認できたため、正規圧密(OCR1.0)でねじり速度を、10(deg/min)、1(deg/min)、0.1(deg/min)、0.01(deg/min)、0.001(deg/min)の5段階でねじり試験を行った。この結果のうち、応力経路を図-6、応力ひずみ関係を図-7 に示す。図-6 からせん断過程において、ねじり速度が大きいほど間隙水圧および平均有効応力の減少が速くなる傾向が読み取れる。図-7 からは 1%以下のせん断ひずみ部分ではアイソタク則が確認できた。また、ひずみ速度が大きいほど偏差応力が大きくなることも図-7 より読み取れる。しかし、

せん断ひずみが1%を超えるとアイソタック則は見られなくなり, 最大偏差応力はほぼ同じ値に収束する。

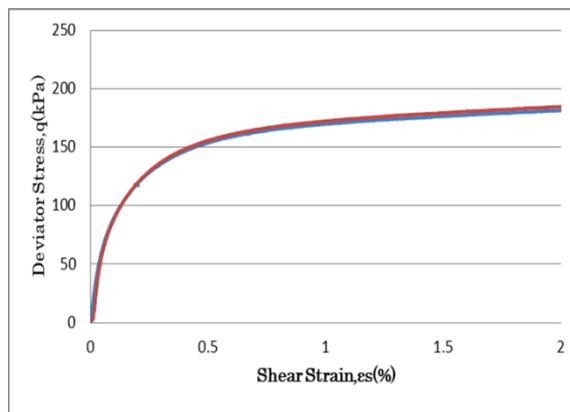


図-5 ねじり速度 0.01 (deg/min) の応力-ひずみ曲線

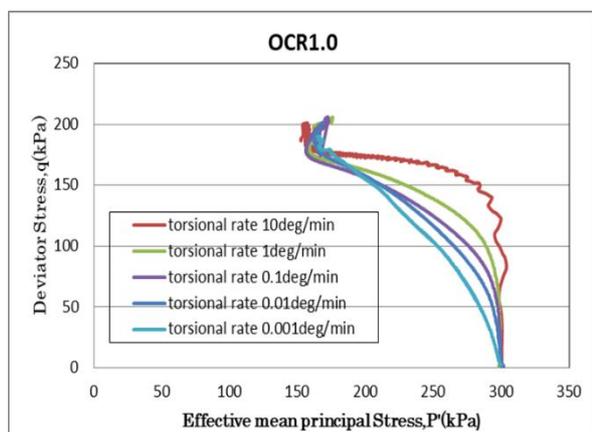


図-6 OCR=1.0 における応力経路

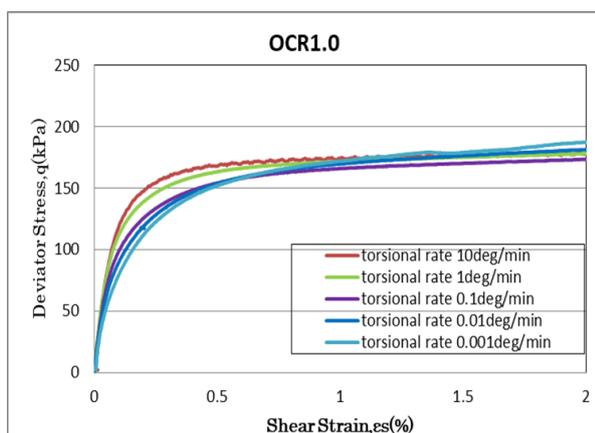


図-7 OCR=1.0 における応力-ひずみ曲線

3.2 過圧密における結果

過圧密のケース(OCR=2.0)では, 10(deg/min),

0.1(deg/min), 0.01(deg/min)の3段階に分けて試験を行った. その結果を図-8, 図-9に示す. 図-8から, ねじり速度が最も小さい0.01(deg/min)において, 最も大きく有効応力が増加している. しかしながら, 図-9では, ねじり速度が小さいほど偏差応力 q は小さくなっており, 有効応力の変化からは, この現象は説明できない. 正規圧密同様過圧密でも1%以下のせん断ひずみ部分ではアイソタック則を確認できるが, 1%を超えるとアイソタック則は確認できなくなり, 最大偏差応力はほぼ同じになることが分かる.

さらに過圧密比が大きいケース(OCR=6.0)で試験を行った. このケースでも, ねじり速度が1(deg/min), 0.1(deg/min), 0.01(deg/min)の3段階に分けて試験を行った. 結果を図-10, 図-11に示す. 図-10より, ねじり速度が小さいほど, 平均有効応力が大きくなっていることが読み取れる.

図-11より過圧密比6でも, ねじり速度が小さいほど偏差応力 q は小さくなっており, 有効応力の変化からは, この現象は説明できないのは, 過圧密比2のケースと同様である. また, 1%以下のせん断ひずみ部分ではアイソタック則が確認でき, 1%を超えるとアイソタック則が確認できないのも同様である. このことから, 過圧密比2と6では, 同様の傾向を示すことが確認できた.

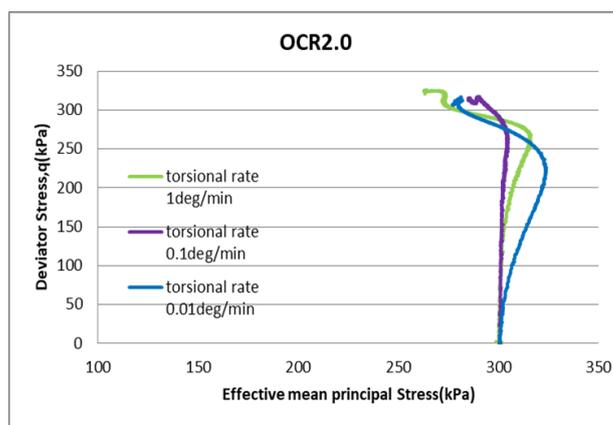


図-8 OCR=2.0 における応力経路

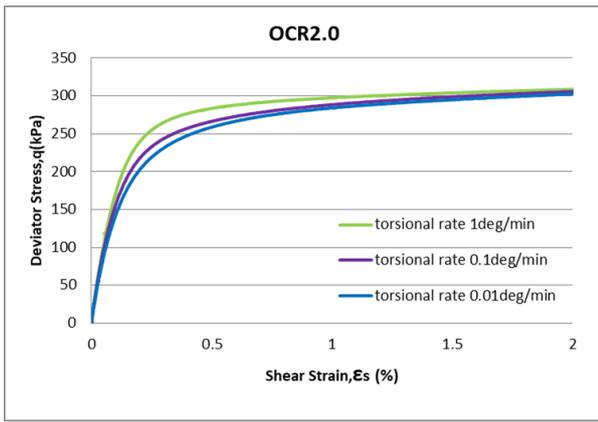


図-9 OCR=2.0における応力-ひずみ曲線

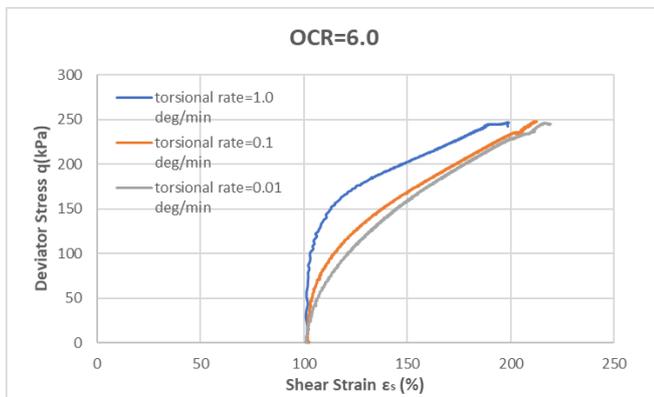


図-10 OCR=6.0における応力経路

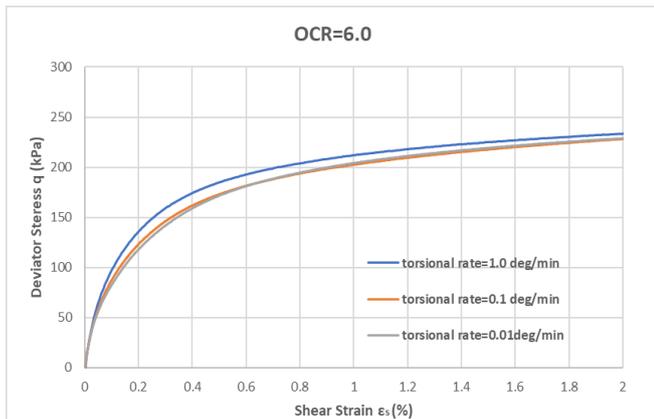


図-11 OCR=6.0における応力-ひずみ曲線

4. 試験結果の検討

前章で述べたようにせん断ひずみ1%以下の部分にはアイソタック則が見られた。本研究ではその部分に注目し、割線せん断弾性係数 G_{50} を求めた。割線せん断弾性係数を求めるにあたり、最大偏差応力の半分 q_{50} (kPa)におけるせん断ひずみの値を用いた。割線せん断弾性係数の算出は正八面

体せん断応力式を用いた。割線せん断弾性係数とねじり速度の関係を図-12に示す。図-12よりねじり速度が大きくなると割線せん断弾性係数が大きくなることが分かった。

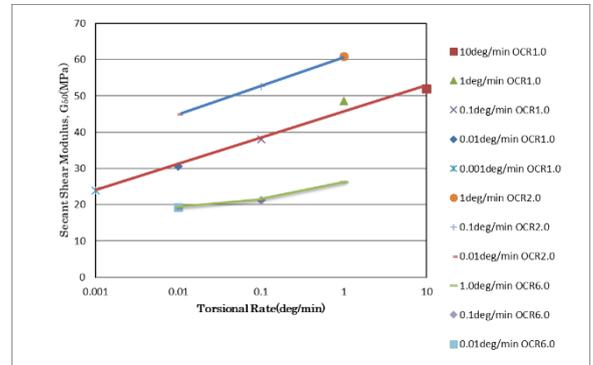


図-12 せん断弾性係数-ねじり速度関係

5. 結論

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

正規圧密(OCR=1.0)の飽和粘性土の非排水せん断において、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が見られなくなる。

過圧密の飽和粘性土の非排水せん断試験においても正規圧密の結果と同じように、1%以下のせん断ひずみ部分で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。しかし、1%以降はアイソタック則の傾向は見えなくなった。このことは過圧密比が大きくなって、同様の傾向を示すことが分かった。

また、アイソタック則が確認できる部分の割線せん断弾性係数は、ねじり速度が大きくなるほど大きくなることが分かった。

6. 参考文献

- 1) 篠原雅幸 (2019) : 粘性土の変形特性に与えるせん断ひずみの影響, 平成30年度長岡技術科学大学修士論文.