

砂の粒子配向性が三軸および中空液状化試験結果に与える影響

長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院

○平山峻輔
豊田浩史
高田 晋

1. はじめに

砂地盤は、粒子形状や粒子間接触状態に大きく依存して力学特性が変化する。なかでも粒子配向性は、せん断変形時の転動・滑動方向を支配し、液状化強度に影響する要因として注目されている。既往の研究では、任意の配向角を与えた試料を対象とした要素試験により、配向角が圧縮強度や液状化強度に与える影響が示されている^{1) 2)}。

これまで、人為的に粒子配向性（配向角 0° , 45° , 90° ）を付与した砂供試体を用い、三軸液状化試験を実施してきた。そこで、粒子配向角は圧縮強度および液状化強度の双方に明確な異方性を与えることが確認されている。特に、圧縮強度は 0° が最大となる一方、液状化強度は 90° が最大となり、強度特性は配向角に依存して逆転傾向を示していることが確認されている³⁾。

本研究では、三軸とは異なるせん断機構を有する中空ねじりせん断試験を実施する。三軸試験との比較を通じて、砂粒子の配向性が液状化・再液状化特性に及ぼす影響を明らかにし、試験装置によらない一般的な評価方法の確立を目指す。

2. 既往の研究

従来の液状化試験では、砂粒子に特定の配向性を持たせた供試体を作製する方法が一般的に採用されていた。例えば、漏斗を使用して砂を空中落下させる場合、粒子は通常 0° の角度で堆積する。そのため、粒子の配向性（異方性）を意図的に変化させるには、供試体を作る際に容器の角度を調整する必要があった。液状化挙動の評価には、これまで三軸試験（図-1）と振動台試験が広く用いられてきた。

三軸試験では、軸方向に繰返しせん断力を加えることで液状化特性を評価する。この手法では、図3のように 90° 配向の供試体が 0° 配向の供試体よりも高い液状化強度を示すことが確認されている。

これらの試験結果は、粒子の配向性や応力方向が液

状化特性に与える影響の重要性を示している。異方性を正確に評価するためには、粒子配向性と応力方向の関係を考慮した繰返しせん断試験が必要である。

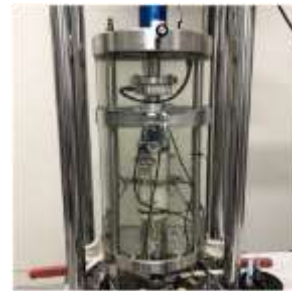


図-1 三軸試験機



図-2 中空試験機（せん断後）

3 中空試験装置について

図-2 に中空試験機の写真を示す。この試験装置は中空円筒供試体に回転力を加えて円周方向にねじることによって、供試体全体にせん断変形を与える。さらに、回転力の他に軸力、外圧、内圧の3主応力を制御することが可能である。これらより、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、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、中間主応力係数 b を制御することが可能である。

4 試験結果

4. 1 液状化試験における中空と三軸の比較

三軸試験にて、相対密度 60%，配向角 45° ， $q = 30$ kPa で行った液状化試験の結果を図-3，図-4 に示す。また、相対密度 60%，主応力方向 45° ， $b = 0.25$ $q = 40$ kPa の中空せん断試験の結果を図-5，図-6 に示す。

図-3，図-5 より三軸液状化試験と中空ねじりせん断試験の結果を比較すると、両試験とも繰返し載荷が進むにつれて間隙水圧が高まり、それぞれの有効平均主応力 p' が 0 kPa に向かって徐々に低下していく様子が確認できた。図-4，図-6 より、三軸と中空の両方で両方向へひずみが進展しているのが確認できた。また、どちらも負側へのひずみが大きかった。つまり、

三軸では伸長方向 ($b = 1$) が弱く、中空では逆回転の時が弱い。中空の逆回転時には、主応力方向 -45° , $b = 0.75$ となっており、この大きな b 値により弱くなったと考えられる。また、有効応力経路より、三軸の方が、有効応力減少が早い、ひずみは、ゆっくりと進展している。この違いには、三軸試験と中空ねじりせん断試験における応力状態やせん断方向の違いが関係していると考えられる。

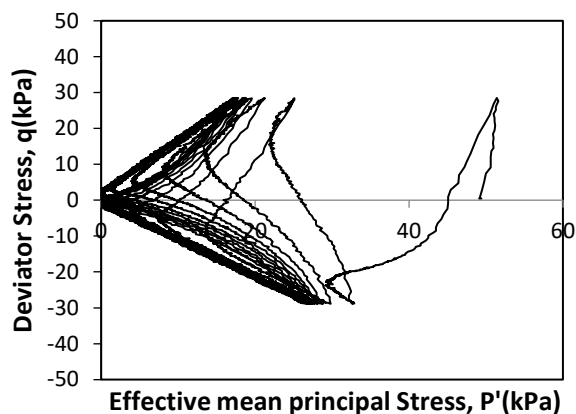


図-3： 偏差応力-平均有効主応力（三軸）

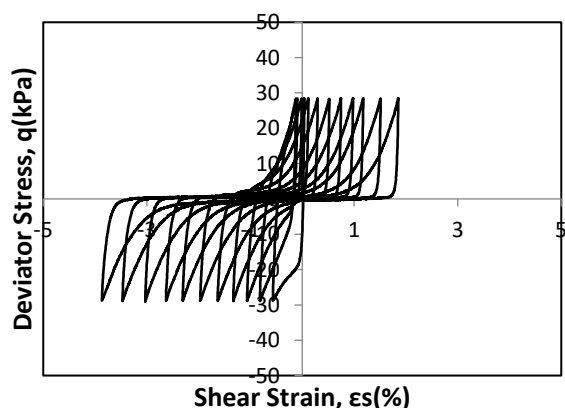


図-4： 偏差応力-せん断ひずみ（三軸）

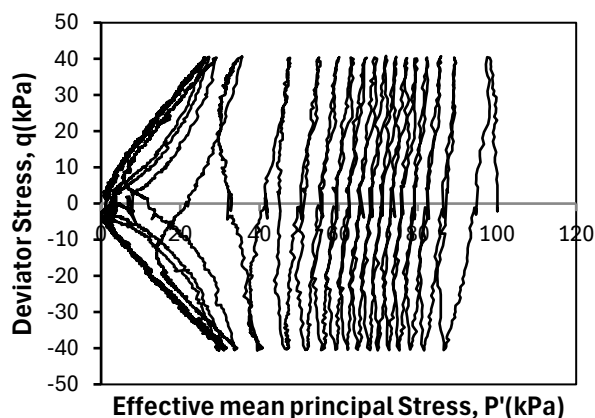


図-5： 偏差応力-平均有効主応力（中空）

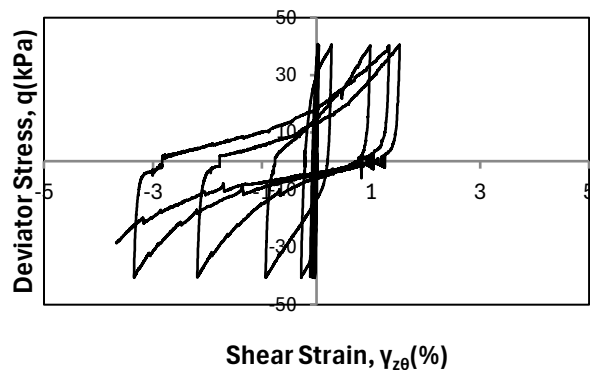


図-6： 偏差応力-せん断ひずみ（中空）

5 結論

本研究では、粒子配向角 45° 、相対密度 60%の砂供試体を用いて三軸液状化試験、主応力方向 45° 、相対密度 60%の砂供試体を用いて中空ねじりせん断試験を実施し、試験方法の違いが繰返しせん断時の応力経路と応力・ひずみ挙動に及ぼす影響について検討した。

三軸液状化試験に比べ、中空液状化試験の方が、ゆっくりと間隙水圧が上昇し（図-3と図-5の比較）、液状化後のひずみの進展は早い結果となった（図-4と図-6の比較）。

両試験の比較から、同じ相対密度であっても、試験方法によって有効応力経路が異なることが明らかとなった。今後は、中空ねじりせん断試験で、せん断方向の影響と b 値の影響を、個別に調べていく予定である。

参考文献

- 1) 長岡技術科学大学工学研究科修士論文，三軸試験を用いた液状化による砂粒子配向性の変化，藤原涼，2022.
- 2) Ladd, R. S. : Specimen preparation and liquefaction of sands, Journal of Geotechnical Engineering, 100(10), 1180-1184, 1974.
- 3) 長岡技術科学大学工学研究科修士論文，粒子配向性が三軸試験による液状化強度におよぼす影響，高縁心，2026.