

液状化を含む砂の非排水挙動におよぼす応力履歴の影響

名古屋工業大学 檜尾正也
 名古屋工業大学 中井照夫
 名古屋工業大学大学院 是永雄一
 名古屋工業大学大学院 長井弘明

研究の目的

砂は密度、拘束応力や応力履歴の違いによって変形・強度特性が大きく異なる。これまでに排水条件下での砂の挙動(剛性やダイレイタンス特性)が応力履歴によって影響を受けることを実験から検証している¹⁾。そこで本研究では、異なる応力履歴を与えた後に砂の非排水せん断を行ったとき、応力履歴の違いによって砂の応力～ひずみ挙動(有効応力経路の差異や液状化抵抗, 等)が受ける影響について、実験結果に基づいて検討を行った。

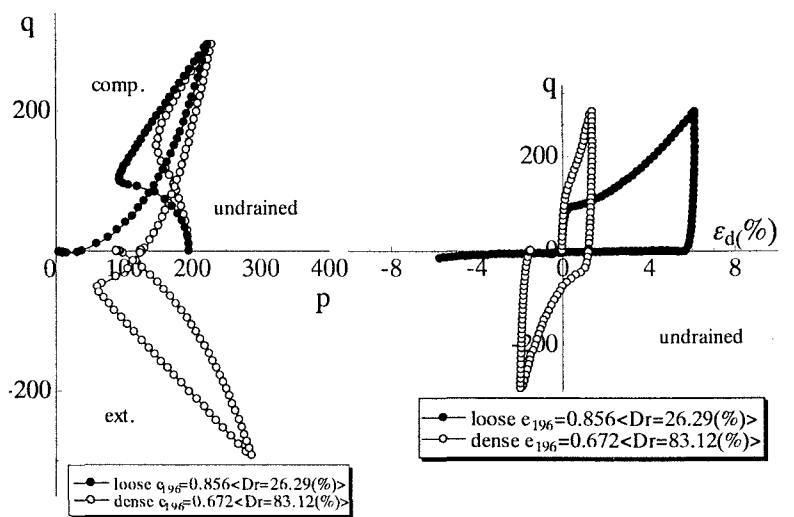
実験結果と考察

実験は豊浦砂を試料として、三軸試験機を用いて平均主応力 196kPa まで等方圧密したのち、それぞれの試験を行っている。

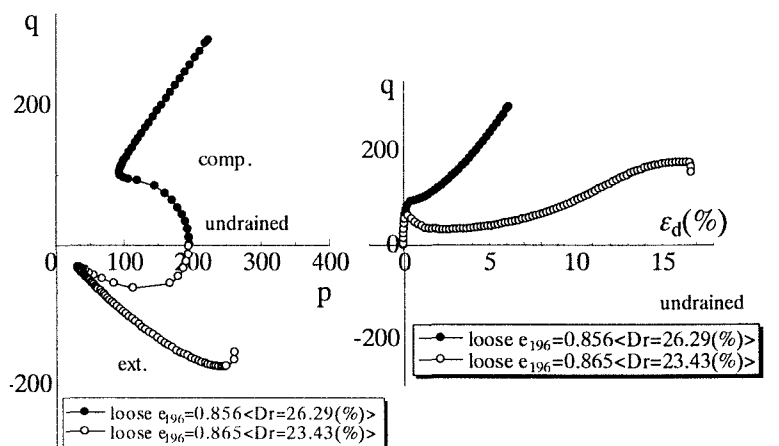
最初に、密度の異なる供試体での繰返し非排水三軸せん断($q = \sigma_d - \sigma_r = 294\text{kPa} \Leftrightarrow -294\text{kPa}$)の結果を Fig.1

に示す。(a)図の有効応力経路から、繰返しに伴い密な砂(○プロット), 緩い砂(●プロット)ともに三軸圧縮から三軸伸張側に向かう応力経路下で有効応力の減少が見られ、等方応力状態近傍で大きく減少している。特に緩い砂では等方応力状態近傍で有効応力が0になる液状化現象が見られるが、密な砂では1回の繰返しでは液状化に至っていない事がわかる。(b)図の偏差ひずみ～偏差応力関係から、密な砂, 緩い砂のともに初期の剛性はほとんど同じだが、有効応力が減少から増加に変化する変相点をこえたあたりから緩い試料のほうの剛性が低くなっており、液状化抵抗も小さくなっていることがわかる。

次に、緩い試料による非排水三軸圧縮せん断と伸張せん断の試験結果の有効応力経路を Fig.2(a)に、偏差ひずみ～偏差応力関係を Fig.2(b)に示す。(a)図から同じ間隙比ならば伸張条件でのせん断(○プロット)のほうが有効応力の減少が大きいことがわかり、同じせん断を受けたとしても伸張せん断の方が液状化しやすいことがわかる。これは排水条件下でのせん断で見た場合、伸張条件



(a)有効応力経路 (b)偏差ひずみ～偏差応力関係
 Fig.1 密度が異なる砂の非排水繰返しせん断試験結果



(a)有効応力経路 (b)偏差ひずみ～偏差応力関係
 Fig.2 非排水三軸圧縮,伸張せん断試験結果

でのせん断のほうの体積圧縮量が大きいことに対応している(Fig.3 参照)。(b) 図から、非排水強度 q_u は三軸圧縮せん断のほうが大きく、初期の剛性はほぼ同じだが変形が進むにつれて三軸伸張せん断の方の剛性が小さくなっていることがわかる。ここで三軸圧縮せん断では、限界状態に達するまで試験が行うことができず正確な非排水強度が求まっていない。また、伸張せん断で最終的な応力比の減少はネッキングが生じたためである。

最後に、排水のせん断履歴がその後の非排水せん断に与える影響について検証した。今回の実験では3種類の履歴を与えている。test1 は排水条件下で平均主応力一定の三軸伸張せん断を主応力比2まで行った後、等方応力状態に戻し非排水三軸伸張せん断を行った。test2 は test1 と逆に、排水条件下で平均主応力一定の三軸圧縮せん断を主応力比3まで行った後、等方応力状態に戻し非排水三軸伸張せん断を行った。

test3 はせん断履歴のない非排水伸張せん断である。ここで、それぞれの供試体は違った応力履歴を与えるものの、履歴後の間隙比は test1 で $e=0.826$ 、test2 で $e=0.841$ 、test3 で $e=0.865$ となっており、ほぼ同じ密度であるといえる。これらの試験結果の有効応力経路を Fig.4(a)に、軸ひずみ～偏差応力関係を Fig.4(b)に示す。(a)図から、test1(Δ プロット)では伸張の応力履歴を受けているため、最初ではほとんど有効応力の変化がなく弾性挙動をしていると考えられ、その後主応力比が2以上では弾塑性挙動となっており、有効応力の減少と増加が見られる。また、この弾塑性部分の有効応力経路と test3(\circ プロット)での有効応力経路を比較すると似た形となっており応力履歴による影響は初期に弾性挙動をする以外はほとんどない考えられる。test2(\square プロット)では履歴のない試験の結果と比較すると有効応力の最小点はほぼ同じだが、最小点に至るまでの変化が異なっており、test2 のほうがより小さい偏差応力で変化している。限界状態の概念では、同じ非排水せん断では密度が同じなら応力履歴にかかわらず最終的に同じ有効応力状態に至ると仮定しているが、これら3つの試験では限界状態は一致していない。これは、これらの伸張せん断試験においてひずみの大きいところでネッキングが生じたためである。(b)図から test1 と test3 ではほとんど剛性に違いは見られないが、test2 では履歴のない test3 に比べ剛性は小さくなっている。これは三軸圧縮の応力履歴による異方性が発達したため、その後の逆方向のせん断となる三軸伸張せん断には剛性が小さくなったと考えられる。これらの非排水三軸伸張試験より、test3 のように三軸圧縮履歴を受けたものの液状化抵抗が一番小さいといえる。

結論

砂の挙動は、同じ非排水せん断であっても応力履歴の違いによって、有効応力経路や剛性に大きな影響を与える。特に応力履歴とは逆の方向にせん断を受けた場合に有効応力が大きく減少しやすく、液状化しやすいということになる。同じことが液状化した地盤の再液状化についてもいえる。つまり、液状化の判定をする際にはその地盤の密度だけでなく応力履歴も含めて考える必要がある。

《参考文献》

- 1) 単調および繰返し载荷を受ける砂のダイレイタンシー特性と異方性

檜尾正也・中井照夫・星川拓哉・吉田英生, 地盤工学会論文報告集, Vol.41, No.3, pp.107-124. ,2001

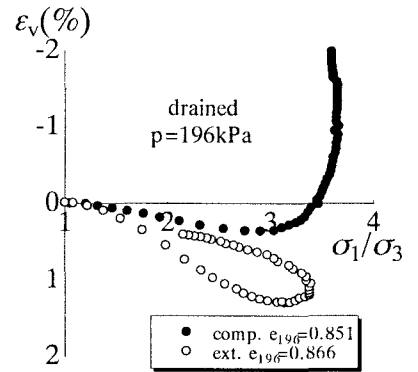


Fig.3 緩い砂の排水三軸圧縮、伸張せん断試験結果

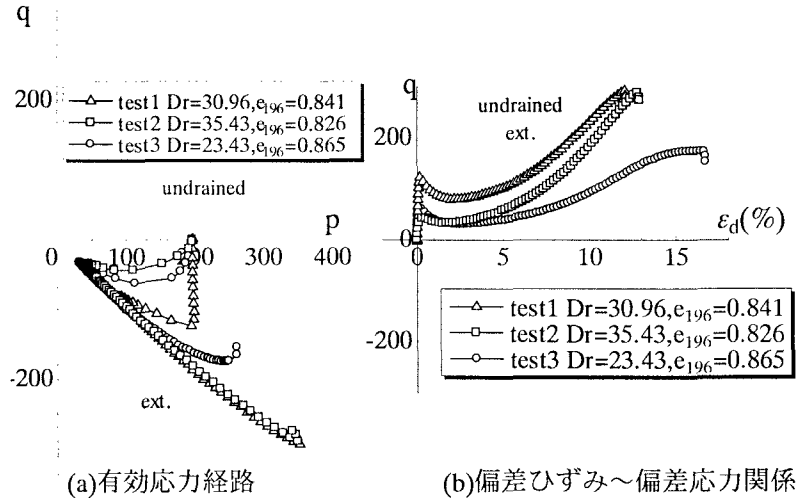


Fig.4 応力履歴の異なる砂の非排水三軸伸張せん断試験結果