非排水繰返しせん断を受けた砂の圧縮特性と圧密後の力学挙動

名古屋大学(学)　○早野将康　二井内政典　石井俊樹
名古屋大学(正)　中井健太郎、中野正樹、野田利弘

1　序論

図-1は、初期相対密度60%の中詰め砂供試体を、三軸試験機を用いて非排水繰返しせん断した後に、繰返しせん断を止めて圧密させた実験結果である。繰返しとともに有効応力は次第に減少し（過剰間隙水圧の上昇）、やがてq＝p'＝0近辺を通りながら「くの字」型の繰返し挙動、サイクリックモビリティを示す。繰返し初期は軸ひずみがほとんど生じないが、サイクリックモビリティ中は剛性の増大（下に凸の圧縮線）を伴いながら、圧縮･伸張側両方向に進展していく。なお、さらに繰り返すと、最終的に軸ひずみは急増して要素挙動を保つことができなくなり、液状化する。繰返しせん断を止めて排水コックを開けると、非排水繰返しせん断時に蓄積した過剰間隙水圧の消散とともに、圧密が進行する。

本報告の目的は、異なる載荷条件の下で非排水繰返しせん断を受けた砂供試体の圧密挙動および圧密排水後の力学挙動について、三軸試験機を用いて実験的に調べることである。

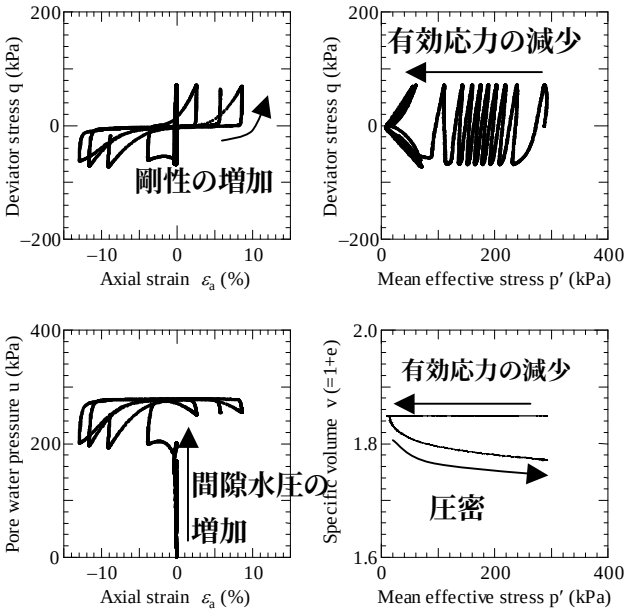

図-1 非排水繰返しせん断とその後の圧密挙動

表-1 試料の物理的性質

	密度	均等係数	曲率係数	最大間隙比	最小間隙比
珪砂	2.65	1.833	0.982	1.07	0.67

2　試料および実験方法

表-1は、試験に用いた三河珪砂6号の物性である。均等係数、曲率係数から、よく分給された試料であることがわかる。

供試体作製方法は様々にあるが、できるだけ均質で初期相対密度の揃った供試体を作成するために、乾燥砂を用いたDD（Dry Deposition）法を採用した。供試体作成後は通水をじっくりと行い、B値が95%以上のもののみを使用した。

所定の圧密圧力294kPaで約10分間等方圧密した後、軸力載荷側圧一定非排水繰返しせん断試験を行う。応力振幅は80kPa、載荷周期は30sとした。繰返し載荷終了後は、そのまま排水コックを開けて圧密排水した。

3　実験結果

3.1　サイクリックモビリティ中の繰返し回数がその後の圧密挙動に及ぼす影響

図-2は、初期相対密度を42%～54%に揃えて行った非排水繰返しせん断後の圧密排水量をまとめたものである。サイクリックモビリティ中の繰返し回数を様々に変えて試験した。ここでγ_{max}とは、試験中に観測された最大軸ひずみ量のことであり、サイクリックモビリティ中の繰返し回数が多いほど大きくなる。

繰返し回数が多く、γ_{max}が大きいほど圧密時の体積ひずみ量は大きくなる。γ_{max}が10%を超えると、ε_vは収束に向かうが、この時供試体は変形量が非常に大きく、液状化していると考えられる。等しい有効応力変化（Δp'=294kPa）による圧密であるにも関わらず、非排水繰返し載荷履歴の違いによって、その後の圧密挙動が異なることがわかった。

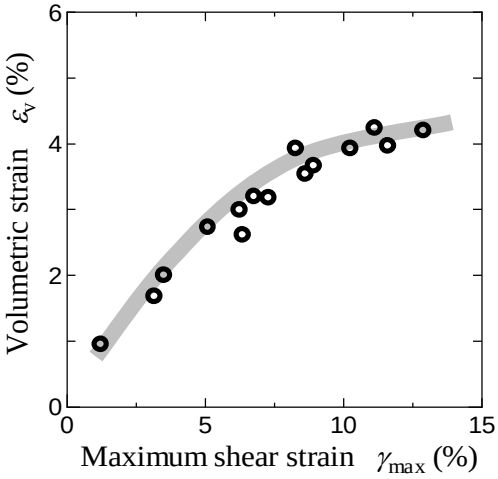

図-2 非排水繰返し載荷履歴を受けた砂の圧縮挙動

3.2 サイクリックモビリティ中の繰返し回数が圧密後の非排水繰返しせん断強度に及ぼす影響

排水させて再圧密した供試体は、圧密前より比体積が減少して密度が増加する。図-3 と図-4 は、非排水繰返しせん断とその後の排水を何度か繰り返した実験結果である。ともに (A) が圧密前、(B) が圧密後の非排水繰返しせん断挙動である。サイクリックモビリティ中の繰返し回数が少なく、最大軸ひずみ量 γ_{max} の小さい図-3 では、(A)に比して (B)は、サイクリックモビリティに至るまでの有効応力の減少量が小さくなっている。また、1 回の繰返し時に生じる軸ひずみも (B) の方が小さくなっており、非排水繰返しせん断強度が増加して、強固になっている。ところが、サイクリックモビリティ中の繰返し回数が多く、最大軸ひずみ量 γ_{max} の大きな図-4 を見てみると、(B) の方が圧密排水によって密度が大きくなっているにも関わらず、少ない繰返し回数で再びサイクリックモビリティを示して軟弱になっている。非排水繰返し載荷履歴の違いによって、圧密後の力学挙動が異なることがわかった。

4 結論

非排水繰返し載荷を受けた砂供試体は、サイクリックモビリティ中の繰返し回数が多く、最大軸ひずみ量 γ_{max} が大きいほど、圧密排水量が大きくなる事が分かった。また、非排水繰返し載荷履歴の違いによって、圧密後の力学挙動が大きく異なることも示した。この事は、地震動を受けた砂地盤が地震後再堆積する際に、地震動の大きさや継続時間によって、以前より強固になることもあれば、軟弱になりうることもあることを示唆している。

参考文献

1) Nagase, H., Ishihara, K. (1988) “Liquefaction-induced compaction and settlement of sand during earthquakes”, Soils and Foundations, Vol.28, No.1, 65-76.

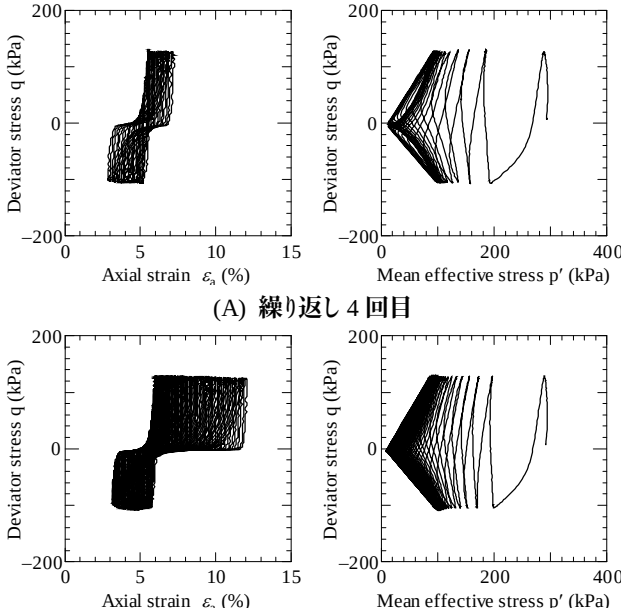

図-3 密度増加に伴って増加する非排水繰返しせん断強度

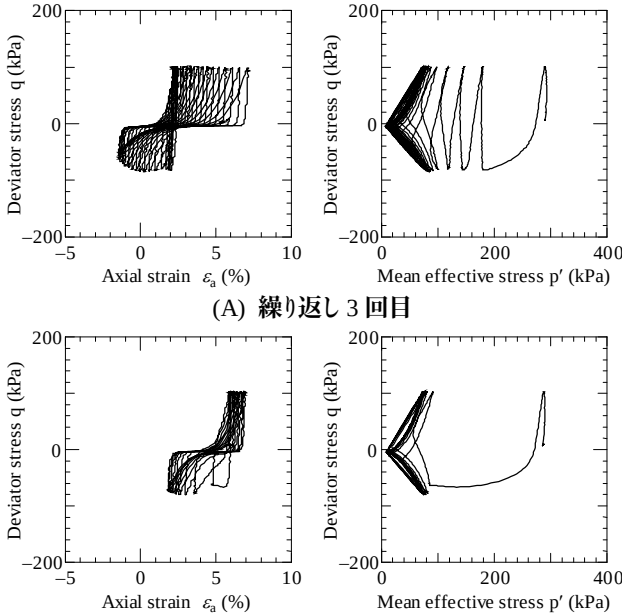

図-4 密度増加しているにも関わらず低下する非排水繰返しせん断強度