

砂の繰返しせん断特性に及ぼす初期構造異方性の影響

福岡大学工学部 学生員 ○花田 文和 太田 勝康
 福岡大学工学部 正 員 佐藤 研一 吉田 信夫
 福岡大学工学部 原田 光博

1) はじめに

著者ら¹⁾²⁾はこれまでに、豊浦標準砂を用いて図-1に示すような供試体を空中落下法、棒突き法によりそれぞれ作成し、堆積面形成に伴う初期構造異方性の影響を調べてきた。その結果、主応力方向の異なる非排水繰返しせん断特性は、粒子の定方向配列に起因する堆積面形成の有無による初期構造異方性の影響が支配的であることが確認された。一方、単粒子の形状に着目すると、図-1に示すような完全球形の粒子により作成された供試体では、堆積面は形成されず等方的な挙動を示すと考えられる。そこで本研究では単粒子の形状に着目し、粒子の形状が完全球形であるガラスビーズを砂試料の替わりに用い、砂の繰返しせん断特性に及ぼす初期構造異方性の影響について単粒子形状の点から考察する。

2) 実験概要

今回の実験は、地震時の地盤中の様々な応力状態の変化をより近い状態で再現できる全自動計測制御可能な中空ねじりせん断試験装置を用い、応力制御による非排水繰返しせん断試験を行った。実験には図-2のような粒径を持つ、豊浦標準砂とほぼ同じガラスビーズ($G_s=2.5, e_{max}=0.689, e_{min}=0.549$)を用いた。供試体寸法は、内径約6cm・外径約10cm・高さ約20cmである。供試体の作成方法は、直径14mmのアルミ管(先端部分を2mm×20mmの長方形)を接続したじょうご内に試料を満たし、所定の密度にするため、落下高さを一定に保ちながら徐々に空中落下させて充填していく。なお、供試体の相対密度は $Dr=80\%$ とした。次に、作成した供試体の飽和度を高める目的で炭酸ガスを循環させて脱気水を通水し、バックプレッシャーを98kPa負荷する。B値が0.96以上になっていることを確認し、等方圧密終了後、非排水繰返しせん断試験を行なった。実験では平均主応力 $p=196(kPa)$ 、中間主応力係数 b 値=0.5を一定としている。今回の実験は、図-3の応力経路に従い主応力方向は $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の3種類、繰返し応力比は $\tau/p_c'=0.15, 0.18, 0.20, 0.25$ の4種類について行っている。ここで主応力方向 α とは、供試体に最初に繰返し荷重を載荷させた方向と鉛直軸とのなす角であり、堆積面と α の関係は図4に示す通りである。

3) 実験結果と考察

図-5(a),(b)は、繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.15$ における主応力方向角の異なる2種類($\alpha=30^\circ, 60^\circ$)の有効応力経路図である。これらの図から、主応力方向 α が大きくなるにつれて、サイクリックモビリティを示す直前までの有効応力の低下量に大きな違いが見られ、主応力方向 α の影響が現われている。この挙動は、堆積面の形成が生じる空中落下法により作成された豊浦砂の挙動と良く類似

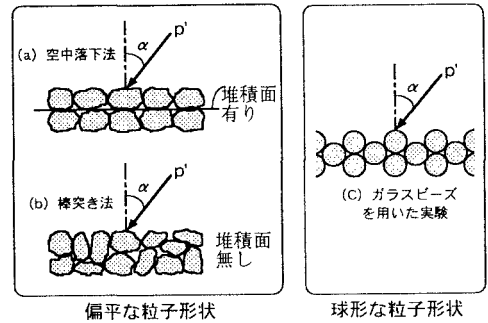


図-1 各供試体の微視的構造

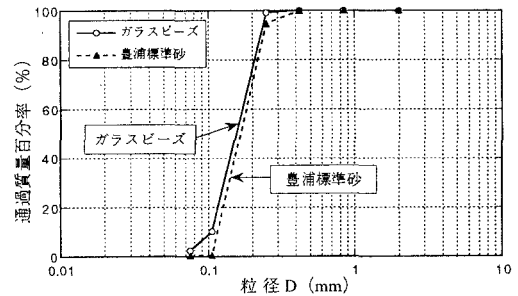


図-2 粒径加積曲線

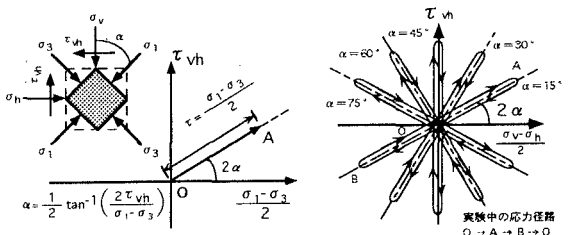


図-3 本実験における応力経路図

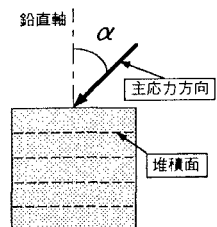


図-4 堆積面と主応力方向の関係

している。図-6(a),(b)にねじりせん断応力 τ_{vh} とねじりせん断ひずみ γ_{vh} の関係を示す。 $\alpha=60^\circ$ に比べ、 $\alpha=30^\circ$ の方が繰返しに伴う変形が小さいことがわかる。図-7は最大過剰間隙水圧比 $u/p_c'_{max}$ と繰返し回数 N の関係を示す。いずれも繰返し回数の増加に伴い過剰間隙水圧比も上昇し、過剰間隙水圧比が0.6付近に達した後、急速に過剰間隙水圧比が発生しているのわかる。また、主応力方向の違いによって繰返し回数の増加に伴う過剰間隙水圧比の発生量が異なり、主応力方向 α が大きいほど同一回数における過剰間隙水圧比の発生量が大きくなっている。また、最大せん断ひずみ γ_{max} と繰返し回数 N の関係を図-8に示す。せん断ひずみの発生の過程においても、主応力方向 α の影響が現われている。せん断ひずみの発生挙動は、過剰間隙水圧比が0.6付近に達するまではどの角度においても極めて小さな発生にとどまっている。しかし、過剰間隙水圧比が0.6付近に達した後、せん断ひずみの発生が進行し始めている。これは、ガラスビーズにおいても砂試料と同様に有効応力径路が変相線に達した後、変形が進むことを意味している。

次に、図-9にガラスビーズと豊浦標準砂のそれぞれの試験において、最大せん断ひずみが $\gamma_{max}=5\%$ に達した時点の繰返し応力比 τ/p_c' と繰返し回数 N の関係を示す。この図より、ガラスビーズと豊浦標準砂の両試料において、主応力方向の違いによる異方性の影響が現われており、主応力方向が大きくなるほど液状化強度の低下が見られる。また、ガラスビーズは豊浦標準砂より、繰返しに対する強度は小さいことがわかる。

4) 結論

形状が球状であるガラスビーズを用いた今回の実験では、堆積面が存在しないにもかかわらず豊浦標準砂と同様に主応力方向の違いによる初期構造異方性の影響が確認された。これは、単粒子がひとたび集合体を形成すると粒子の形状に関係なく繰返しせん断特性に初期構造異方性の影響が現われることを示している。このことから、粒状体は、普遍的に受ける重力により、堆積時に形成される粒子の接点方向の異方的分布があると考えられる。このことは、あらゆる自然堆積地盤の力学的特性を考える上で、初期構造異方性の影響は無視できないことを示唆している。

〈参考文献〉 1) 佐藤ら(1995): 密な非排水繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向角の影響, 土木学会論文集, No.541/III-3.5, pp.199-213 2) 太田ら(1996): 供試体の初期構造異方性に着目した砂の液状化特性, 第32回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp.449-450.

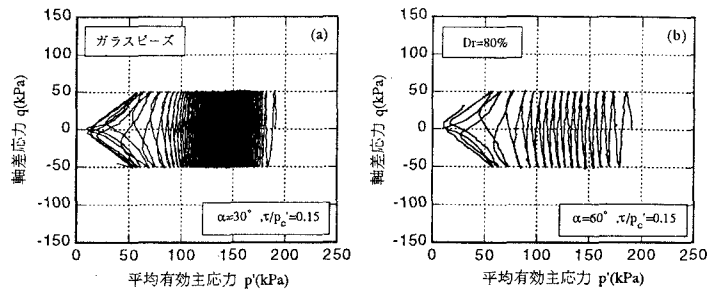


図-5 有効応力径路図

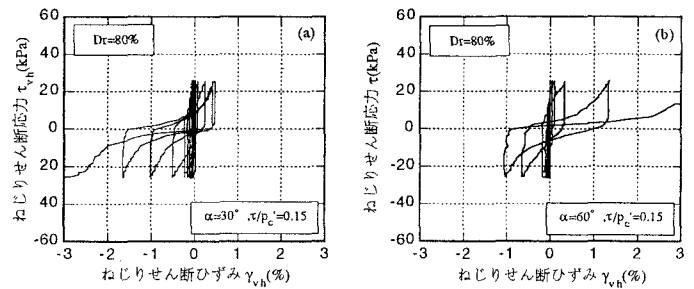


図-6 ねじりせん断応力 τ_{vh} とねじりせん断ひずみ γ_{vh} の関係

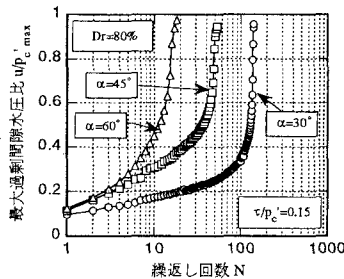


図-7 最大過剰間隙水圧比 $u/p_c'_{max}$ と繰返し回数 N の関係

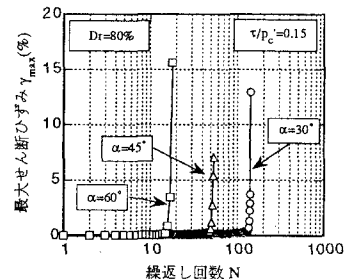


図-8 最大せん断ひずみ γ_{max} と繰返し回数 N の関係

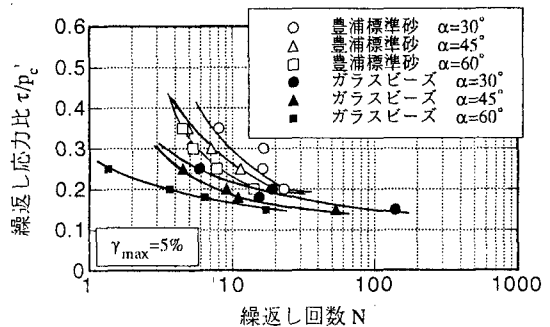


図-9 ガラスビーズと豊浦標準砂の繰返し強度曲線