

密度と応力振幅が砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす影響

名古屋大学(学) 柳川一心 石井俊樹 小林直樹 徳留英士
 名古屋大学(正) 中井健太郎 中野正樹 野田利弘 浅岡顕

1 研究の目的

砂の力学特性は、密度・拘束圧依存性があると言われている。著者らはこれまでに、密度・拘束圧が砂の単調載荷非排水せん断挙動に及ぼす影響について調べてきた¹⁾。本報告では、繰返し特性に着目し、初期密度が砂の非排水繰返しせん断挙動に与える影響について調べた。さらに、同じ密度の供試体に対して、応力振幅を変えた時の影響も調べた。

2 試料および実験方法

試験に用いた試料は三河珪砂6号である。図-1に粒径加積曲線を、表-1に物理特性を示す。三河珪砂6号は、よく分給された試料であることがわかる。

本研究では初期密度を緩詰め(相対密度 3% ~ 13%)、中詰め(39% ~ 56%)、密詰め(74% ~ 90%)の3種類に揃えた。緩詰め供試体は5%程度に湿らせた砂を緩く堆積させるMP(Moist Placement)法、中詰め・密詰め供試体は乾燥砂を用いたDD(Dry Deposit)法を採用し、必要に応じてバイブレータで締固めた。供試体作成後は通水によって飽和度を上げ、B値が95%以上のもののみを使用した。供試体を作製した後、圧密圧力294kPaで10分間等方圧密し、軸力・載荷側圧一定非排水繰返し三軸圧縮/伸張試験を実施した。なお、応力振幅は60kPa、載荷周期はすべて30秒である。

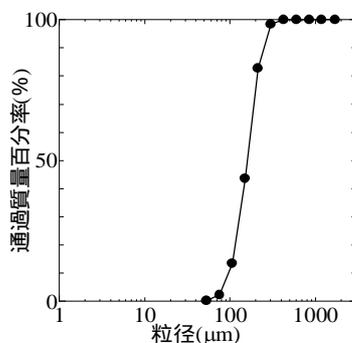


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理特性

| | 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 |

3 密度の異なる砂の非排水繰返しせん断挙動

図-2は緩詰め砂の試験結果である。有効応力パスを見てみると、繰返し試験を開始して数回で有効応力 p' がゼロまで減少している。 $p'=q=0$ 付近に応力状態をとると、それまでほとんど生じていなかった軸ひずみ ϵ_a が急増して、供試体は破壊(液状化)してしまう。図-3は中詰め砂の試験結果である。繰返しとともに p' がゼロまで減少していくのは緩詰めと同様であるが、その減少の仕方を詳細に見ると、最初の数回の繰返し時は大きく p' が減少するものの、次第に減少量は小さくなり、応力状態が $p'=q=0$ に到達する直前に再び大きく減少していること

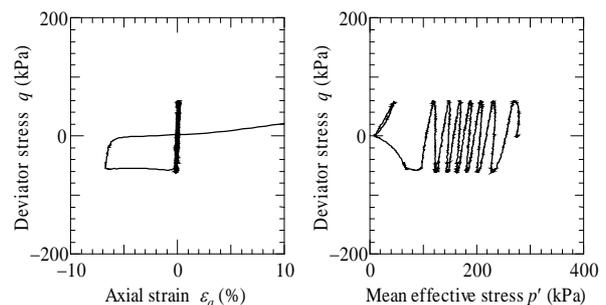


図-2 緩詰め砂の試験結果

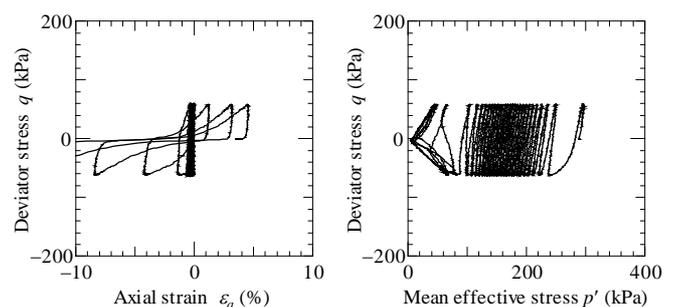


図-3 中詰め砂の試験結果

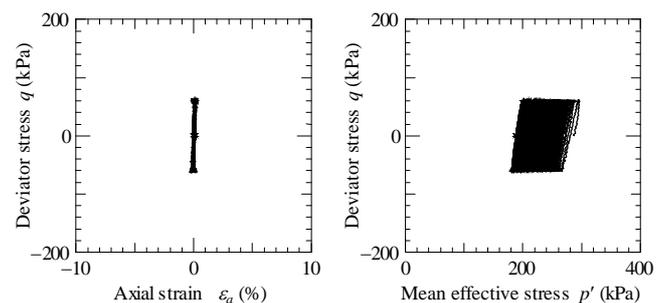


図-4 密詰めの試験結果

がわかる(疎密疎)。緩詰めと異なるのは、 $p'=q=0$ に応力状態がありながらも供試体は円筒形を保って応力応答を示し、原点($q=p'=0$)を通る「く」の字型の繰返し挙動(p' の増加を伴う q の増加と p' の減少を伴う q の減少)を示すことである。この繰返し挙動はサイクリックモビリティ(以降、CM)と呼ばれる砂に特徴的な繰返し挙動である。続いて、応力～ひずみ関係を見てみると、CMを示すまで ϵ_a はほとんど発生していないが、CM中は上に凸のカーブを描きながら(剛性の増大)、圧縮側・伸張側両方向に除々に進展する。この時、 ϵ_a の増分 $\Delta\epsilon_a$ は均等であることがわかる。CM後もさらに繰返し载荷を与えていくと、最終的には ϵ_a が急増して供試体は破壊(液状化)する。図-4は密詰めの試験結果である。最初の数回の繰返し時こそ、 p' は減少するものの、最終的には収束してしまい、 ϵ_a もほとんど生じない。

4 応力振幅が異なる砂の非排水せん断挙動

図-3の中詰めと同密度の供試体を用いて、応力振幅を大きくした(80kPa)結果を図-5に、小さくした(40kPa)結果を図-6に示し、応力振幅が砂の非排水繰返しせん断挙動に与える影響を調べた。応力振幅を大きくすると、CMを示すのは図-3と同じだが、CMに到達するまでの p' の減少の仕方が大きく(疎に)なり、CM中に発生する ϵ_a の進展量が大きくなっている。一方、応力振幅を小さくすると、図-4で示した密詰めのように p' の減少が途中で収束してしまい、CMを示さなくなってしまう。

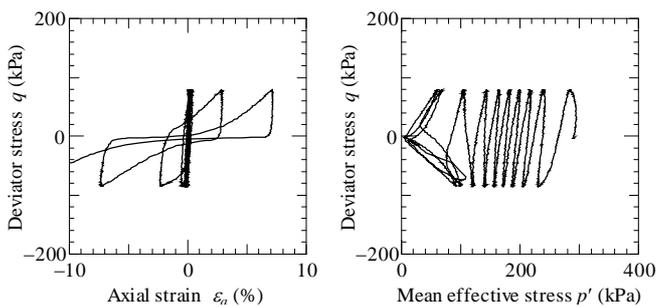


図-5 応力振幅 80kPa の試験結果

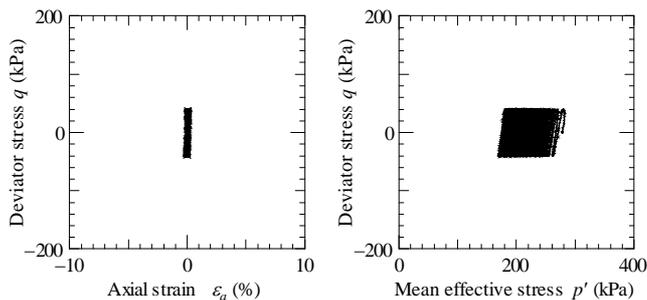


図-6 応力振幅 40kPa の試験結果

5 まとめ

本報告では、密度および応力振幅が砂の非排水繰返しせん断挙動に与える影響について調べた。その結果、[A]繰返しとともに p' が減少し、サイクリックモビリティを示さずに供試体は破壊(液状化)する、[B]サイクリックモビリティを示し、最終的には液状化する、[C]繰返しに伴う p' の減少が途中で収束してしまい、供試体は破壊しない、といった3種類の挙動を示すことがわかった。図-6に示したとおり、密度が小さいほど、また応力振幅が大きいほど[A]の挙動になりやすく、逆に密度が大きいほど、応力振幅が小さいほど[C]の挙動となりやすいことがわかった。

続いて[B]の挙動に注目し、CM中の $\Delta\epsilon_a$ と応力振幅比の関係を図-7に示す。応力振幅比とは、応力振幅を初期拘束圧で除したもので、本報告で示さなかった実験データも追加で示している。密度が大きいほど、そして応力振幅が小さいほど $\Delta\epsilon_a$ は小さくなり、CMを示した供試体が破壊(液状化)するまでに、より多くの繰返し回数を必要とすることがわかる。

参考文献

1) 中井健太郎, 中野正樹, 野田利弘, 浅岡顕 (2004), 空隙比・有効拘束圧依存の砂の非排水せん断挙動に関する初期構造と過圧密に関する記述, 第16回地盤工学シンポジウム論文集, pp.81-90

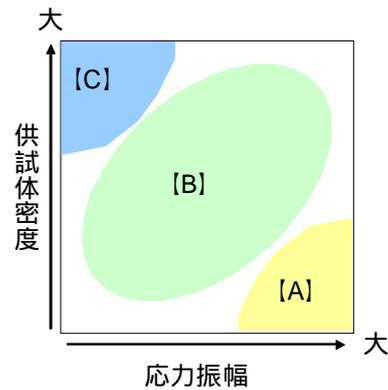


図-6-3 種類の挙動のまとめ

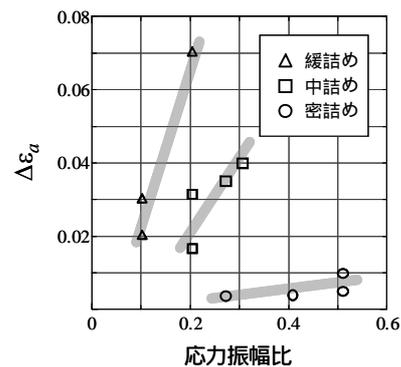


図-7 CM中のひずみ増分と応力振幅比の関係