

## 低塑性細粒分を含む砂の液状化特性に与える密度の影響

|               |      |     |          |
|---------------|------|-----|----------|
| 九州工業大学工学部     | 学生会員 | ○友久 | 徹也       |
| 九州工業大学大学院     | 正会員  | 永瀬  | 英生 廣岡 明彦 |
| 九州工業大学大学院     | 学生会員 | 中野  | 武大 劉 浩   |
| 三井共同建設コンサルタント | 正会員  | 福本  | 圭吾       |

## 1.はじめに

低塑性の細粒分を比較的多く含む自然地盤や埋立地盤が液状化した事例が報告されている(例えば1)。それを契機に、砂の液状化強度に及ぼす細粒分の影響について数多くの研究が行われた(例えば2)。しかし、同程度の細粒分を含む砂であっても、密度の違いによってその影響は異なるはずである。そこで本研究では、室内で人工的に作成した非塑性細粒分を含む砂を用い、密度を変えて供試体を作製した。その後、中空ねじり試験装置を用いて液状化試験を実施し、細粒分を含む砂において密度が液状化特性に与える影響について検討した。

## 2.実験試料および試験方法

豊浦標準砂に DL クレーを混合し、水中落下法により供試体を作製した。

DL クレーとはシルトを主体とした非塑性の細粒分である。作製した供試体の配合は、DL クレー（以下、単に細粒分と呼ぶ。）の含有率が 20%の場合であり、その寸法は内径 6cm、外径 10cm、高さ 10cm の中空円筒形である。表 1 に試料の物理的性質を示す。FC=20%の試料に対し最大・最小密度試験(JIS A 1224)を行って、最大・最小間隙比を求めている。一般に FC=5%を超える

表 1 試料の物理的性質

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| $\rho_s(\text{g/cm}^3)$ | 2.638 |
| 最大間隙比 $e_{max}$         | 0.865 |
| 最小間隙比 $e_{min}$         | 0.530 |
| 液性限界 $w_L$              | NP    |
| 塑性限界 $w_p$              | NP    |

試料はこの試験の適用範囲外であるが、本研究では室内試験を行うに際して、一定の条件下の供試体を作成するための指標として相対密度  $Dr$  を用いることにした。供試体の  $Dr$  は 55%、75%になるように設定した。

実験は供試体を飽和させ、有効拘束圧 98kPa で等方圧密した後、周波数 0.1Hz の正弦波形で非排水繰返し載荷を行った。その後、非排水状態で、ひずみ制御による静的単調載荷をひずみ速度 5%/min で行った。B 値は 0.95 以上であることを確認している。

供試体作製時は  $Dr=55\%$ 、75%になるように試料の乾燥状態の質量を決定したが、各供試体で体積を均一に保つことが難しいことや圧密後の収縮の影響により  $Dr$  に多少ばらつきが生じている。 $Dr=55\%$ に関しては 50~59%、 $Dr=75\%$ に関しては 73~78%の範囲の供試体を用いている。

## 3.実験結果と考察

図 1 に両振幅せん断ひずみ  $DA=7.5\%$ に達して液状化したと判断するまでに必要な繰返しせん断応力比と繰返し回数の関係（液状化強度曲線）を示す。供試体の  $Dr$  が大きくなれば、同じ繰返し回数ときの繰返しせん断応力比が大きくなっている。従って、 $Dr$  の増加は、液状化強度の増加につながる事がわかる。また、 $Dr=75\%$ の液状化強度曲線の全体的な形状は  $Dr=55\%$ に比べて急な傾きを持っているため、繰返し回数が多くなるとつれて、 $Dr=55\%$ と  $Dr=75\%$ の繰返しせん断応力の値が近づいている。これより、繰返し回数が増えたと  $Dr$  が増加しても、液状化強度が増加する割合は少なくなると言える。

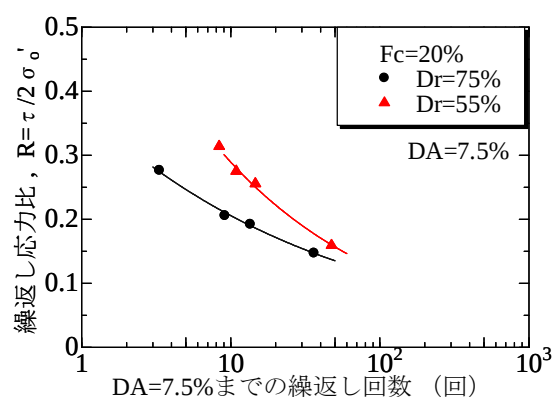


図 1 液状化強度曲線

図 2(a),(b)に異なる一定の繰返し応力振幅を用いた非排水繰返し試験のデータから、繰返し応力比  $R$  と各両振幅せん断ひずみ  $DA$  が生じた繰返し回数  $N$  の関係を示す。異なる  $DA$  に対する液状化強度曲線の間隔を比較すると、図(a)の  $Dr=55\%$ では図(b)の  $Dr=75\%$ よりも狭い。すなわち、密度が低い場合、液状化強度曲線の間隔が狭くなり、小さな  $DA$  が生じてから大きな  $DA$  が生じるまでの繰返し回数の増加が小さく、わずかな繰返し回数の増加で  $DA$  は急激に増加する。一方、密度が高い場合、液状化強度曲線の間隔が広くなり、繰返し载荷過程における  $DA$  の増加は緩やかである。つまり、密度を増加させることで、繰返し载荷での  $DA$  の増加速度を小さくする効果がある。

図 3(a),(b)に静的単調载荷試験を行ったときのせん断応力  $\tau$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係を示す。繰返し载荷後に静的単調载荷を行った場合は、図(a)の  $Dr=55\%$ 、図(b)の  $Dr=75\%$ のどちらの供試体も同程度の  $R$  を 20 回程度作用させた後に静的単調载荷に移行した。相対密度  $Dr=55\%$ では、初期の段階からせん断ひずみが急速に増加しているが、せん断応力はほとんど上昇してない。その後、ひずみが 20%程度でせん断応力が上昇していることから、せん断抵抗が回復していることがわかる。 $Dr=75\%$ では、载荷した直後からひずみの増加とともにせん断応力が上昇しており、せん断抵抗が持続していることがわかる。ここで、液状化後の供試体の剛性が回復するまでに要する区間を微小抵抗領域とし、微小抵抗領域での傾きをせん断剛性  $G_1$  とした<sup>3)</sup>。せん断剛性  $G_1$  は、 $Dr=55\%$ では  $0.28\text{kPa}$ 、 $Dr=75\%$ では  $81.06\text{kPa}$  となっており、同程度の繰返し载荷を受けた後のせん断剛性が大きく異なり、密度が高い場合には高いせん断剛性を維持するものと考えられる。

#### 4.まとめ

本研究では非塑性細粒分を含む飽和砂の液状化特性に及ぼす密度の影響について検討を行った結果、以下のような傾向が得られた。

- (1)密度の増加により液状化強度は増加する上、密度が高い飽和砂は液状化後も高いせん断剛性を維持する。
- (2)せん断応力の繰返し回数が増すにつれて、相対密度が異なる飽和砂の液状化強度の差が小さくなっており、繰返し回数の多い場合は相対密度を増加させても、液状化強度の増加する割合は低くなる。

#### 参考文献

- 1)沼田,他:1989年ロムプリエタ地震で生じた噴砂の液状化特性、土木学会第45回年次学術講演会、pp.692-693、1990. 2)佐藤,他:細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究、土木学会論文集 No.561、pp.271-282、1997. 3)安田,他:液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集 No.638/III-49、pp.71-89、1999.

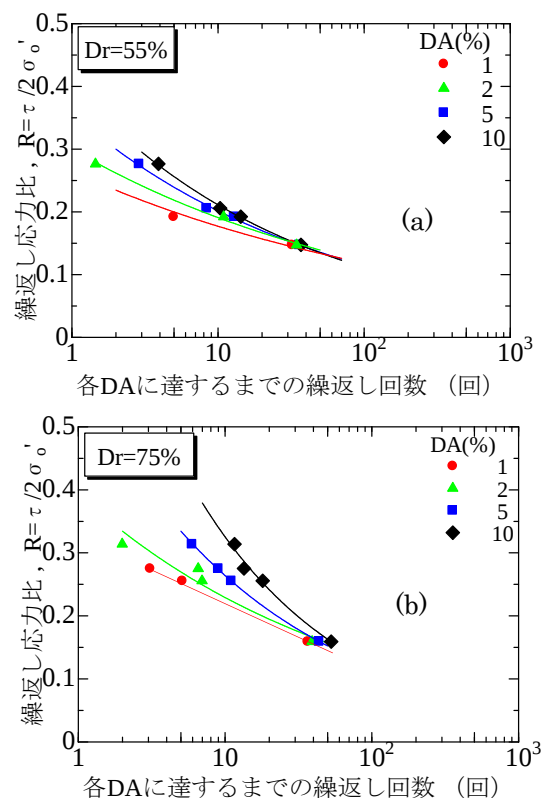


図 2 各  $DA$  での  $R$  と  $N$  の関係

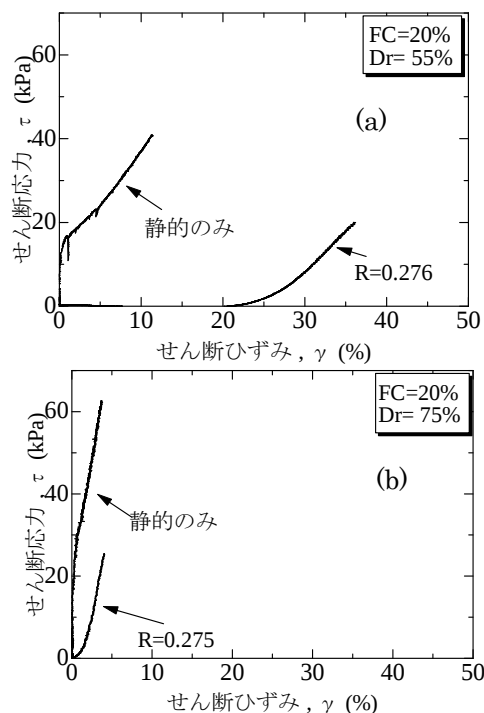


図 3 静的単調载荷試験の結果