

砂の再液状化挙動に及ぼす供試体密度の影響

福岡大学大学院 学生員 ○西野 匡
 福岡大学大学院 正員 佐藤 研一
 福岡大学大学院 正員 吉田 信夫

1.はじめに 著者ら^{1), 2)}はこれまでに、特に初期せん断応力が作用する砂の再液状化挙動に着目し、実験的な検討を行ってきた。その結果、初期せん断を受けている場合、繰返し履歴を受けると液状化強度は、履歴後の供試体密度の増加とともに強くなる傾向を示した。しかし、履歴回数の増加に伴うせん断ひずみの発生によって、一定のひずみを超えると強度低下することが明かとなった。またその傾向は、初期せん断応力が大きくなるにつれて小さくなることも示された。そこで本研究では、初期せん断下における再液状化挙動を明らかにするために、この現象を供試体密度の違いに着目し、緩詰め(Dr=40%)、中詰め(Dr=60%)、密詰め(Dr=80%)を作成して検討を行った結果を報告する。

2.実験方法 実験は、繰返し三軸圧縮試験機を用い、試料には豊浦標準砂 ($G_s=2.650$, $e_{max}=0.962$, $e_{min}=0.622$) を使用した。供試体は、直径約7.5cm、高さ約15cmであり、空中落下法により相対密度 $Dr=40$ 、60、80%を目標に作成した。今回の実験方法は、紙面の関係上ここでは省略するが、その詳細については参考文献(1)、(2)を参照して頂きたい。また実験は、図-1に示すように初期せん断応力を $q_s=29.4\text{kPa}$ と一定にして、履歴時の繰返しせん断応力比 τ_p/p'_c を履歴なしの実験($N_p=0$)において繰返し回数 20 回で液状化に至った時の繰返し応力比を用い、表-1に示す実験条件で行っている。

3.実験結果 図-2に $Dr=40\%$ 、図-3に $Dr=80\%$ 、履歴回数 $N_p=0,10,20$ 回を受けた後の有効応力経路図を示す。図-2の $Dr=40\%$ では、履歴を加えたものは、履歴なしのものと比較すると有効応力が 0 に至るまでに多くの繰返し回数を必要とし、液状化に対する抵抗力が増していることが分かる。一方、図-3の $Dr=80\%$ の履歴回数 $N_p=20$ では、履歴なしのものよりも、せん断初期に急激な有効応力の低下が見られ、少ない繰返し

表-1 実験条件

相対密度 Dr (%)	履歴回数 N_p	履歴時の繰返し応力比 τ_p/p'_c	履歴後の繰返し応力比 τ/p'_c
40%	0,5,10,20	0.16	0.15~0.22
60%	0,3,5,10,20	0.17	0.14~0.25
80%	0,10,15,20	0.29	0.22~0.49

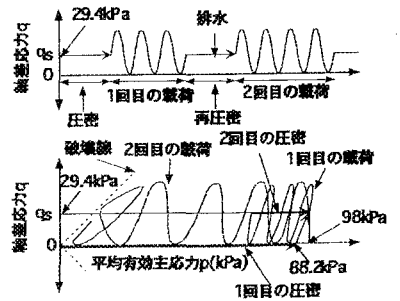


図-1 実験の模式図

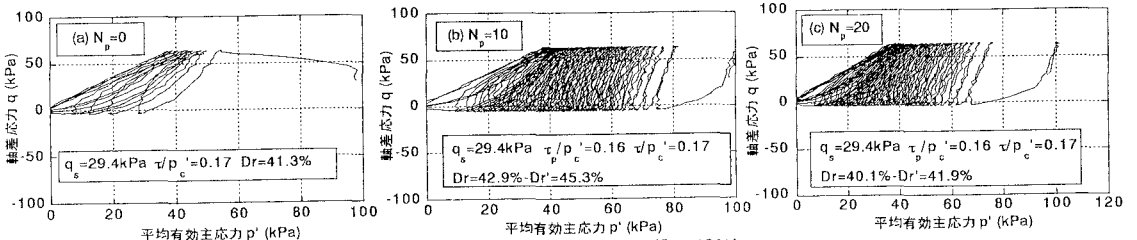


図-2 有効応力経路図 (Dr=40%)

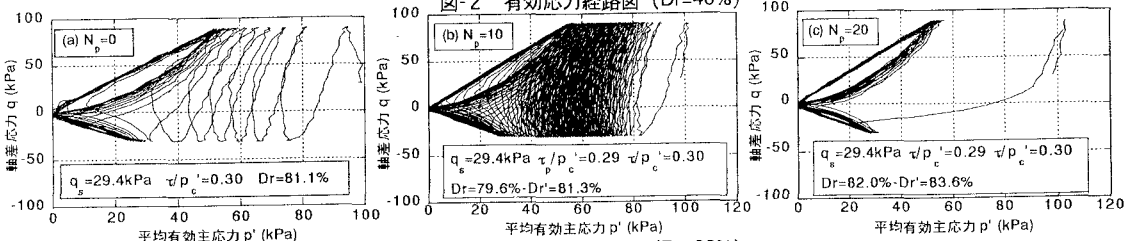


図-3 有効応力経路図 (Dr=80%)

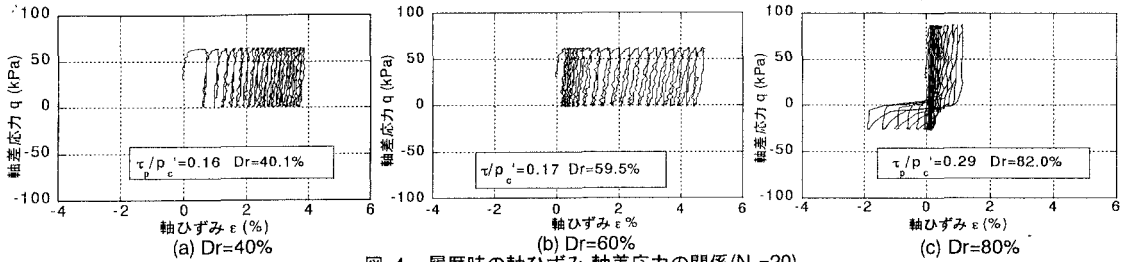


図-4 履歴時の軸ひずみ-軸差応力の関係(N_p=20)

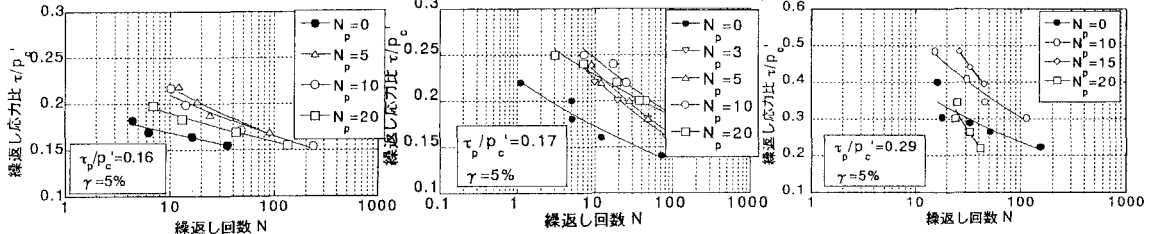


図-5 液状化強度曲線 (Dr=40%)

図-6 液状化強度曲線 (Dr=60%)

図-7 液状化強度曲線 (Dr=80%)

回数で液状化に至っていることが分かる。そこで、履歴回数 $N_p=20$ に着目し、3種類の密度のそれぞれにおける履歴時の軸ひずみ-軸差応力の関係を図-4に示す。その結果、(a)、(b)の $Dr=40, 60\%$ では、履歴時に加える繰返し応力が初期せん断応力とほぼ等しいことから、圧縮側にだけひずみが発生し、蓄積していくことが分かる。これに対し(c)の $Dr=80\%$ では、履歴時のせん断応力が応力反転を生じさせる大きな値であるために、引張側にも変形を起こしていることが分かる。したがって、履歴時に供試体に与えるひずみ履歴の違いが履歴後のせん断挙動に大きな違いを生じさせたと考えられる。次に、図-5、図-6、図-7に、 $Dr=40, 60, 80\%$ におけるせん断ひずみ $\gamma=5\%$ ($\gamma=\varepsilon_1-\varepsilon_3$) で整理を行った液状化強度曲線を示している。いずれの供試体密度においても、履歴回数の増加に伴って一端強度が増加し、 $N_p=20$ 回では低下するということが示された。そこで、この強度低下を明らかにするために、2回目の繰返し载荷において液状化に達するまでの繰返し回数(N_r)と繰返し履歴なしにおける同一応力比における回数(N_l)との比を N_r/N_l とし、履歴時の最大せん断ひずみとの関係を図-8に示す。

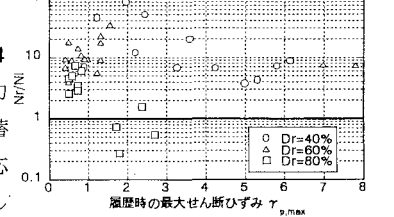


図-8 履歴時の最大せん断ひずみと N_r/N_l の関係

$Dr=40, 60\%$ では、履歴後の繰返し回数が増加しており液状化に至る強度が増加している。しかし、せん断ひずみの増加により強度低下が見られる。一方、 $Dr=80\%$ では、履歴時のわずかなせん断ひずみの発生により強度が増加している。しかし、せん断ひずみ 2%程度の発生により強度低下を示し、履歴なしの繰返し回数を下回っていることが分かる。これは、図-4で示されたように、 $Dr=80\%$ が履歴時に加えられる繰返し応力の大きさが $Dr=40, 60\%$ の場合より大きく、せん断時の応力反転の影響が結果に現れていると考えられる。つまり、履歴時に加えられる繰返し応力が初期せん断応力より大きく、応力反転が生じ伸張側のひずみを生じさせるような場合、履歴後最初の伸張側の载荷において急激な強度低下を示す原因となったと思われる。これは、履歴時に供試体に与えられる応力の作用方向によるひずみ存在性の影響である。したがって、初期せん断を受けている密な地盤でも、履歴時の繰返し応力の大きさによっては、再び繰返し応力を受ける場合に極端な強度低下を示すことが明らかになった。

4.まとめ 供試体密度にかかわらず、初期せん断を受けた砂地盤は履歴を受けることにより、液状化強度を増加させる。しかし、その強度増加は、履歴時に発生するひずみ量と大きく関係し、ひずみの増加によりその強度は低下を示すことも明らかになった。また、履歴時に加えられる繰返し応力によって、伸張側のひずみが発生するような履歴を受ける場合、履歴後に急激な強度低下を明らかになった。最後に今回の研究において、福岡大学工学部津間正進君には心惜しめない協力を受けたことに感謝の意を表します。

参考文献 (1) 田辺・佐藤・吉田：砂の再液状化挙動に及ぼす初期せん断応力の影響, 第34回地盤工学研究発表会, pp.405~406, 1999.7.
 (2) 西野・田辺・佐藤・吉田：砂の再液状化挙動に及ぼす初期せん断力の影響, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.382~383, 1999.3.