

砂の液状化強度に及ぼす応力履歴および液状化履歴の影響

長岡技術科学大学 正会員 ○豊田 浩史

長岡技術科学大学 非会員 高田 晋

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震により、千葉県浦安市において大規模な液状化が発生した。著者らは、液状化被害が顕著であった箇所と地盤改良等により被害が軽微な箇所において表面波探査を行ったが、明確な差異は確認できなかった¹⁾。さらに、千葉県銚子市や茨城県神栖市においては、比較的小さな揺れでも再液状化を起こしていることが報告されている。ニュージーランドのクライストチャーチでも何回も大規模な液状化現象が確認され、大きな社会問題となっている。そこで、表面波探査で見分けられることと、再液状化のメカニズムについて、三軸試験を用いた検討を試みた。実際、乱さない試料の液状化強度は、密度を同じに調整した再構成試料の液状化強度より著しく大きくなることはよく知られている。この理由としては、セメンテーションをはじめとする、年代効果として考えられている。本研究では応力履歴の影響に着目し、本稿では特に、過圧密履歴を与えた砂供試体について、せん断波速度と液状化強度の関係を報告する。また、液状化することにより、この過圧密履歴がどのような影響を受けるかについても検討した。

2. 実験手法

供試体（直径 5cm、高さ 12.5cm）は、豊浦砂を初期含水比 5%に調整した後、モールド内で締固める（10層突固め）方法によって、所定の間隙比となるように作製した。二重負圧法により、供試体の飽和化を行った。繰返し非排水三軸試験は、有効平均応力 $p'=100\text{kPa}$ （等方応力状態）から、軸ひずみ速度 $0.1\%/\text{min}$ で一定とし、所定の繰返し応力振幅比で繰返しせん断を行った。過圧密供試体は、等方応力状態で、 $p'=100\text{kPa}$, 200kPa , 100kPa （OCR2 の場合）、 $p'=100\text{kPa}$, 600kPa , 100kPa （OCR6 の場合）と変化させることで作製した。また、キャップとペDESTALに取り付けたベンダーエレメント（BE）により、せん断波速度 V_s を測定した。BE 間距離は、対となる BE 先端間距離をとる tip-to-tip 法を、せん断波到達時間 Δt は、送受信波形の立ち上がり点で判定する start-to-start 法を採用した。複数の入力波（15～30kHz の正弦波 1 波）を用いて V_s を判定した。液状化履歴に関しては、OCR6 の供試体に対して、繰返し応力振幅比 0.275 で、間隙水压比 100%に達するまで繰返し非排水せん断を行った。その後、非排水状態で軸ひずみがゼロの状態まで戻した後、排水させて圧密を行った。この圧密時に生じた体積ひずみは、1.2%程度であった。この様に作製した試料に対して、前述と同様の液状化試験を実施した。

3. 実験結果

図-1 に過圧密供試体作製時のそれぞれの圧密応力状態で行った BE 試験から得られた V_s を示してある。豊浦砂であるので、等方応力の増加によってはほとんど間隙比が変化していないことがわかる。 p' の増加で V_s は増加するものの、もとの応力状態に戻したら（過圧密供試体）、 V_s も同じ値に戻ってきている。つまり、豊浦砂の過圧密履歴は V_s に影響を与えないということがわかる。

図-2 に得られた液状化強度曲線を示す。OCR が増加すると液状化強度は増加しており、OCR が 1 から 6 になると、 D_r が 40%から 60%程度まで大きくなったときの液状化強度を示している。図-2 より過圧密履歴により、ほとんど間隙比と V_s は変化しないのに、液状化強度は大きく増加することがわかる。せん断履歴等の他の応力履歴についても同様のことがいえる²⁾。参考までに、図-3 に過圧密履歴を受けた礫混じり砂の応力ひずみ関係を示す³⁾。応力履歴により初期弾性領域と大ひずみ領域は影響を受けないが、その間の区間における応力ひずみ関係が応力履歴により増加しており、これが液状化強度に影響を及ぼしているものと考えられる。

キーワード 液状化, 過圧密, 繰返し三軸試験, 再液状化, 砂質土, せん断波速度

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学環境・建設系 TEL. 0258-47-9619

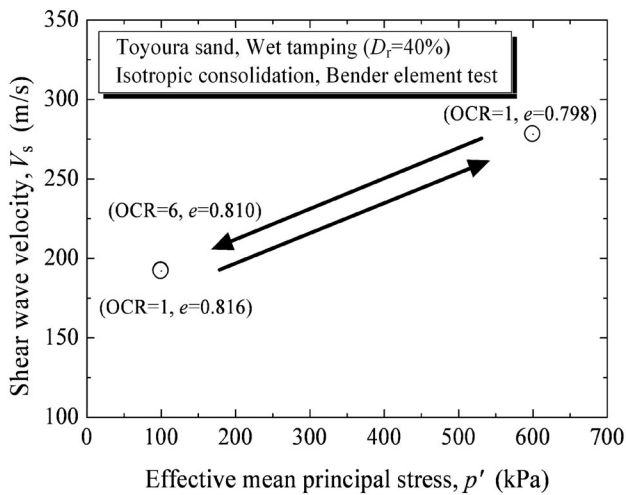
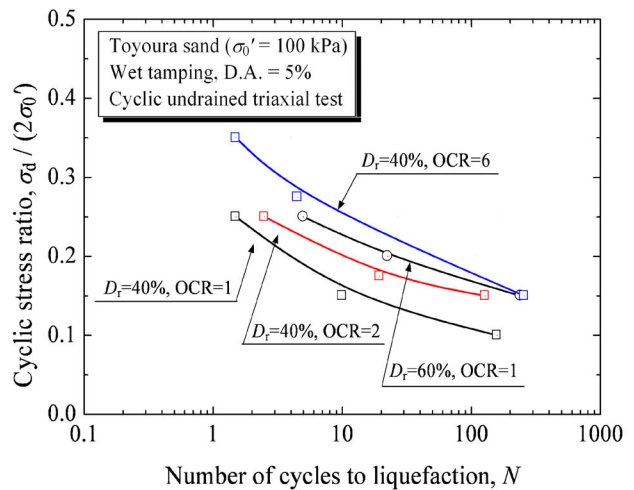
図-1 V_s に与える過圧密履歴の影響

図-2 液状化強度に与える過圧密履歴の影響

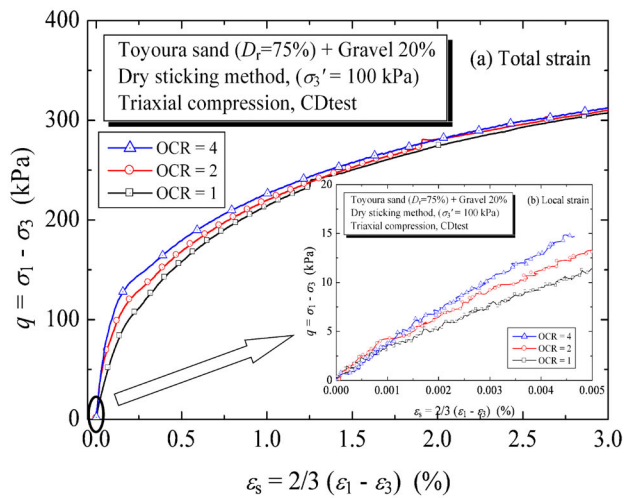


図-3 過圧密履歴を受けた礫混じり砂の応力ひずみ関係

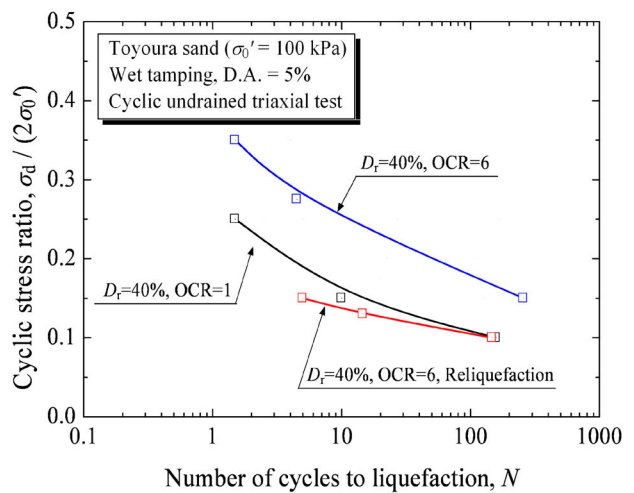


図-4 液状化強度に与える液状化履歴の影響

図-4 に過圧密履歴を受けた供試体が液状化履歴を受けた場合の液状化強度曲線を示す。 $D_r=40\%$, OCR6 のケースのみ実験を行った。過圧密履歴により増加した液状化強度増加が、液状化履歴により消失している。再液状化のケースが OCR1 のケースより液状化強度が小さくなっているのは、OCR1 のケースが湿潤締固めによる土粒子構造を持っているのに対し、再液状化はさらに液状化しやすい土粒子構造になったためと考えられる。

4. まとめ

1. 砂の V_s は、応力状態や間隙比に依存するが、過圧密履歴による影響はない。
2. 砂の液状化強度は、過圧密履歴を受けることにより増加する。
3. 過圧密履歴により増加した砂の液状化強度は、液状化履歴を受けることにより消失する。

以上より、砂の応力履歴による液状化強度増加は、表面波探査などから得られる V_s では評価できないことがわかった。さらに、一度液状化するとこのような履歴は消失するため、再液状化しやすいといえる。

参考文献

- 1) 豊田浩史, 原 忠, 竹澤請一郎, 高田 晋, 須佐見朱加: 簡易動的貫入試験と表面波探査による浦安市の液状化被害分析と応急対策への適用性, 地盤工学ジャーナル, Vol. 7, No. 1, pp. 207-218, 2012.
- 2) 松岡知弥: 応力履歴を与えた砂質土のせん断波速度と液状化強度の関連について, 長岡技術科学大学修士論文, 2012.
- 3) 中村浩士: 礫混じり砂のせん断剛性と液状化強度に与える礫分の影響, 長岡技術科学大学修士論文, 2012.