

砂の粒子配向性が三軸液状化試験結果に与える影響

長岡技術科学大学大学院 伊賀暖人

長岡技術科学大学大学院 Md.Shohrab Hossain Pavel

長岡技術科学大学大学院正会員 豊田浩史

長岡技術科学大学院 高田晋

1. はじめに

地震時には、地盤の強い揺れにより土粒子の配列が再構成され、地盤内部の構造が大きく変化する。2003年の三陸南地震・宮城県北部地震においても、液状化による被害が多く報告されており、地盤構造の変化が液状化現象の主要因の一つであると報告されている。特に、ゆるく締まった飽和砂質土では、せん断変形に伴って過剰な間隙水圧が急激に上昇し、これにより有効応力が減少してせん断強度が低下する。その結果、地盤は固体ではなく、一時的に流体のように振る舞う現象、すなわち液状化が発生する。液状化時には、土粒子の配向が変化し、再堆積時に間隙比の変化や粒子の再配列が起こる。液状化強度は、砂の相対密度、応力履歴、経時的变化、さらには砂粒の形状や配向など、多様な要因に支配される。このため、液状化強度が何に支配されているかを理解することは、地盤の液状化や再液状化を評価するうえで重要である。

2. 研究の目的

本研究では、三軸試験により、砂粒子の配向性が液状化抵抗に及ぼす影響を体系的に評価することを目的とする。特に、砂粒子の配列状態が地震時の液状化挙動にどのように関与するかを明らかにし、液状化発生メカニズムの理解を深化させることを狙いとしている。同様の研究は藤原¹⁾によっても行われており、本研究ではその成果を踏まえてさらなる検討を加える。本研究の主な目的は以下の3点である。

- 1) 粒子配向性と液状化抵抗との相関関係を定量的に評価し、液状化時の粒子配向性の変化を明らかにする。
- 2) 粒子配向性が液状化抵抗に及ぼす影響を実験的に検証し、その支配的要因を把握する。
- 3) 砂粒子の堆積角が液状化時の力学挙動に与える影響を三軸試験により検討し、堆積構造と液状

化特性の関係を解明する。

3. 実験概要

3.1 材料・装置

本研究では、豊浦砂を使用した。豊浦砂の比重は2.65、最大間隙比および最小間隙比はそれぞれ0.990および0.597、均等係数(粒径のばらつきを示す数値)は1.48である。試料の作製には漏斗を使用した空中落下法を採用し、所定の堆積角(0°, 45°, 90°)で可傾式モールド内に砂を充填した。その後、負圧により試料中の水分を除去し、供試体の成形を行った。Fig.1には、負圧による脱水後に型枠を取り外した45°の供試体およびその成形の様子を示す。



Fig.1 45°で形成した供試体

3.2 試験手順

本研究では、三軸試験装置を用いて液状化特性の評価を行った。本装置には、初期せん断弾性係数 G_0 を求めるためのベンダーエレメントが組み込まれている。供試体サイズは12.5 cm、直径5.0 cmの円柱状である。

飽和過程では、セルおよび供試体にそれぞれ -80 kPa および -100 kPa の二重負圧をかけ、脱気水を通すことで完全飽和を促進した。圧密は有効応力 $p' = 30$ kPa および 50 kPa の2段階で実施し、各段階でB値が0.95を超えることをもって完全飽和を確認した。

各圧密段階後には、15 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 30 kHzの周波数でベンダーエレメント試験をそれぞれ2回

ずつ行い、初期せん断弾性係数 G_0 を算出した。液状化試験では、非排水条件下で軸ひずみ速度 0.5 %/min により繰返し荷重を加え、有効応力 p' が 0 (過剰間隙水圧比 0.95) に達するまでの繰返し回数 N_c を求めた。さらにこの供試体を圧密し、再液状化試験を実施した。液状化前後における砂粒子の配向変化を測定することで、粒子構造の変化と液状化抵抗の関係を検討した。

4. 試験結果

4.1 三軸試験

三軸試験は、粒子配向角 0° 、 45° 、および 90° の 3 条件で実施した。液状化前の結果では、粒子配向角 (P.O.) の増加に伴い、初期せん断弾性係数 G_0 が上昇する傾向を示した (Fig.4.1(a))。これは、粒子配向性がせん断波伝達方向に近づくほど、伝達速度が速くなることを意味している。一方、液状化後には、 90° の配向条件で逆の傾向が確認され、構造の乱れにより G_0 が低下したと推察される。

液状化強度については、配向角の増加とともに上昇する傾向が認められ、最も高い値は 90° の供試体で得られた (Fig.4.1(b))。この結果は、粒子配向角が大きいほど液状化過程において粒子間接触がより安定し、せん断変形に対する抵抗性が向上することを示唆している。

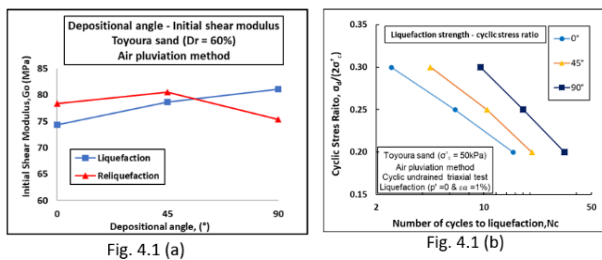


Fig.4.1 P.O と G_0 が液状化強度に及ぼす影響

4.2 粒子配向性の測定

マイクロスコープにより、砂粒子の長軸方向の角度を読み取った。その結果、液状化の過程は砂粒子の配向状態に顕著な影響を及ぼし、その分布に明確な変化をもたらすことが確認された。 0° の配向条件では、液状化後に 90° 方向への粒子配向が増加する傾向が認められた (Fig.4.2(a))。一方、 90° の配向条件では、液状化後に集中度 (V.M.)²⁾ の低下が観察され、粒子の配列がよりランダム化する様子が確認された

(Fig.4.2(b))。 0° の供試体においては、液状化過程において供試体内の浸透流や再堆積により、粒子が再配列し粒子配向性により鉛直方向へと変化したことを示している。これらの傾向は、液状化過程において粒子配列が再構成されることを示すものである。

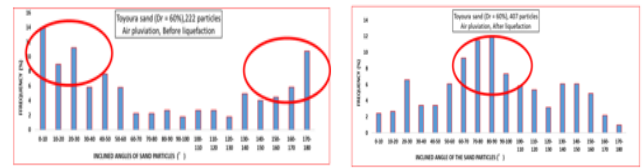


Fig.4.2(a) 液状化前後における 0° 方向の粒子配向性

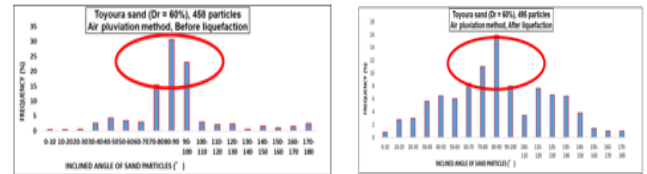


Fig.4.2(b) 液状化前後における 90° 方向の粒子配向性

5. 結論

本研究では、三軸試験により砂粒子配向性が液状化抵抗に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、液状化抵抗は粒子配向と密接に関係しており、配向角が大きくなるほど液状化強度が増加する傾向が確認された。特に、 90° の配向条件では初期せん断弾性係数および液状化強度が最も高く、粒子配向性が砂の力学特性に影響を与えることが示された。

一方で、液状化後には粒子構造の再配列が生じ、配向角が大きくなる傾向が見られた。もともと高配向角の供試体では集中度の低下が計測された。これは、液状化過程において、粒子配向性が乱されたことを示している。

以上より、砂粒子の配向は液状化抵抗に大きく関与しており、粒子構造の異方性を考慮することが液状化メカニズムの理解と予測精度の向上に不可欠であることが示唆された。

参考文献

- 1) 地盤工学会：2003 年三陸南地震・宮城県北部地震災害報告書，2003
- 2) Curry, J.R.: The Analysis of Two-Dimensional Orientation Data, The Journal of Geology, Volume 64, Number 2, 1956.