

論文の内容の要旨

論文題目 密度とせん断波速度が豊浦砂の液状化強度特性に及ぼす影響

(Effects of density and shear wave velocity on liquefaction characteristics of Toyoura sand)

氏名 吳 杰祐

Name of Author Chiehyu Wu

本研究では、豊浦砂を対象として、せん断波速度に代表される地盤の微視的構造と液状化強度との関係を整理するため、供試体密度を一定となるように調整したうえで排水・非排水繰り返し載荷履歴を与え、構造の異なる供試体の液状化強度特性を比較した。本研究では、せん断波速度（微小変形特性）は、地盤の応力状態と土粒子構造の影響を表すパラメータとして採用している。

供試体のせん断波速度の計測方法としては、加速度計を利用している。また、鉛直方向と水平方向のせん断波速度も計測した。供試体を伝搬する鉛直方向の弾性波速度(V_{svH})は、トップキャップ部に設置されたアクチュエータによる S 波を、供試体側面に設置された加速度計 AC により受信することで計測している。水平方向の弾性波速度(V_{shH} と V_{shV})の計測は、供試体側面に取り付けられたベンダーエレメント BE により実施した。試験中の直径の変化は、クリップゲージ CG を用いて計測した。

供試体に構造の変化を与える手法として、等方圧密後に微小な排水繰り返し載荷を与えた。具体的には、一定振幅（両振幅鉛直ひずみ $\epsilon_{v(DA)}0.1\%$ ）の排水繰り返し載荷履歴（0 回・100 回・1000 回・2000 回・3000 回）を異なる供試体に与えた。なお、繰り返し載荷中においてもせん断波速度を計測した。一連の実験の過程では、再液状化試験も実施している。再液状化試験は、初回の液状化試験において両振幅鉛直ひずみ 5%に達した後、再圧密を行い、続けて液状化試験を行った。なお、再液状化試験前にもせん断波速度の計測を行った。

本研究で実施した鉛直方向の一定振幅($\epsilon_{v(DA)}=0.1\%$)の排水繰り返し載荷履歴を与えることにより、鉛直方向のせん断波速度 V_{svH} は、排水繰り返し載荷回数の増加に伴い増加する傾向が確認された。一方、水平方向のせん断波速度 V_{shH} と V_{shV} の場合には、排水繰り返し載荷回数の増加にもかかわらず上昇する傾向がほとんど認められなかった。これは、本研究で実施した鉛直方向の排水繰り返し載荷履歴は、せん断波速度の異方性をより高めたことが示唆される。このような排水繰り返し載荷履歴により、所定の密度の地盤が有し得るせん断波速度には上限が存在する可能性を示唆した。

一連の液状化試験においては、事前に実施された排水繰り返し載荷回数の増加に伴い、土粒子構造（かみ合わせ効果）の安定性により液状化に対する抵抗性が増加する傾向がみられた。また、非排水繰り返し載荷初期段階の応力経路に着目すると、排水繰り返し載荷履歴がある場合は、載荷初期段階の平均有効主応力は鉛直にならず、若干右上向きの挙動を示した。これは、排水繰り返し載荷履歴により、土粒子構造の異方性が発達したことが示唆される。

また、一連の再液状化試験結果より、液状化強度が低下する傾向が得られた。液状化履歴を受ける前後の非排水繰返し載荷挙動と比較すると、液状化履歴を受けた場合、相対密度は増加したにもかかわらず、液状化履歴を受ける前よりも著しく液状化抵抗が低くなる。非排水繰返し載荷履歴により液状化方向のせん断波速度 V_{svH} の値は低下している。これは、1 回目の液状化により供試体の構造の弱化が生じたことを示唆している。一方、有効応力がゼロ近くまで低下した後の繰返し載荷に対するひずみの増分は、1 回目の液状化試験より再液状化試験の方が小さい。液状化抵抗にとって供試体構造（かみ合わせ効果）の安定性は重要な要因であるが、液状化中の変形に対しては、供試体の密度の方が支配的な要因だと考えられる。

また、異なる相対密度を有する供試体において、過剰間隙水圧と鉛直ひずみの発達傾向を考察した。排水繰返し載荷履歴を受けた供試体では、土粒子構造（かみ合わせ効果）の安定性により過剰間隙水圧は上昇しにくい傾向にあると言える。一方、鉛直ひずみの増分と過剰間隙水圧比の関係において、過剰間隙水圧比が 95% になると、密な供試体の鉛直ひずみの増分は小さくなった。この結果は再液状化時の傾向と同様、相対密度は液状化後のひずみの発達程度に影響を与え、せん断波速度に代表される土粒子構造は過剰間隙水圧の発達に大きく影響することが示唆される。

本研究で実施した異なる相対密度の試験結果において、液状化強度 R_{L20} とせん断波速度の関係より、同様のせん断波速度の値に異なる液状化強度が得られたため、液状化強度 R_{L20} とせん断波速度は必ず良い相関性とはいえない。一方、相対密度毎の実験結果を比較すると、各相対密度における液状化強度とせん断波速度の値との間には良い相関性があるといえるが、相対密度とせん断波速度を個別に利用しただけでは説明できない液状化強度の大小関係が得られた。この結果より、せん断波速度と相対密度の両者を適用した液状化強度推測式を検討し、実験結果が推定式により適切に表現できることを確認した。