

P波速度を用いる不飽和砂の液状化抵抗の評価

東京理科大学大学院 学生会員 鎌田 邦夫 大山 敦郎
基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 黄 永男
東京理科大学 正会員 石原 研而 塚本 良道

1. はじめに

地盤の液状化抵抗が飽和度低下とともに大幅に増加する傾向は既往の室内実験結果より明らかになっているが、飽和度の影響に関する定量的な評価手法は確立されていないのが現状と言える。室内実験においては間隙水圧係数 B 値(以下 B 値)を介して供試体の飽和状況が推定されるが、原地盤での B 値の測定は不可能であり飽和度を確認する方法はない。

弾性波 P 波速度 V_p (以下 V_p)は、地盤中において僅かな気泡の混入によって著しく変化するところから飽和度と強い関連性があり、原位置における測定技術も PS 検層法をはじめ実用化されているため、室内と原位置を結び、不完全飽和地盤の液状化抵抗を予測する際に有効なパラメータとして考えられる。そこで本研究では、不飽和砂について V_p の測定と液状化試験を実施し、既往の室内実験結果と比較し、 V_p を用いる不飽和砂の液状化抵抗の評価を試みた。

2. 実験概要

本試験に用いた試料は新潟県信濃川河口に建設中の新潟みなとトンネルの開削工事現場より深度約10mの地点からチューブサンプリング方法により乱さずに採取した新潟砂であり、相対密度は約62%である。供試体の飽和度の制御は二重負圧法と背圧の負荷により試みた。118kPaで等方圧密終了後に減圧法により B 値を測定し、続いて V_p と弾性波 S 波速度 V_s (以下 V_s)を測定した。飽和度は不飽和試料であるので背圧の負荷により間隙内の空気が圧縮され間隙水に溶存することからBoyle則とHenry則を用いて算出した。

図-1に試験装置の概略図を示す。 P 波は中空載荷ロッド内の錘器具を自由落下させてキャップに鉛直方向の衝撃を与えることにより、 S 波はねじり衝撃を載荷ロッドに与えることにより発生する。発生した衝撃波はキャップとペダスタルに内蔵した小型加速度計により受信される。液状化試験は平均主応力一定の非排水繰返し三軸試験を異なる繰返し応力を0.1Hzの周波数で供試体に載荷した。供試体の液状化の判定は軸ひずみ両振幅が5%に到達した時点とし、液状化強度比は液状化曲線の関係から繰返し回数20回の時の応力比とした。

3. 結果および考察

図-2は弾性波速度と飽和度との関係を示したものである。図中の破線は多孔質弾性理論により求めた理論値である。試験結果によると V_p は飽和度の大小に大きく左右され、 V_p は飽和度が90~98%までは緩やかに増加し、飽和度が98%に達した後に急激に増加している。

図は省略するが、 B 値と飽和度の関係では、 B 値が0.4までは急激に飽和度の値が増加し、約0.6の時に飽和度が99%を越える。 B 値と V_p の関係は、 B 値が0から0.4付近までの V_p の増加率は小さいが B 値が0.4を越えてから急激に増加する。 V_p -飽和度、 V_p - B 値の関係において両者共に V_p で約500m/secから増加率が変化していた。 B 値が0.95以上になると V_p は1600m/secを越える。 B 値と飽和度と V_p の間には良い相関関係があることが確認された。飽和度と B 値の関係によると、 B 値 >0.05 の場合には $S_r > 90\%$ になり、 B 値 >0.6 の場合には $S_r > 99\%$ になり供試体の大部分は飽和していることにな

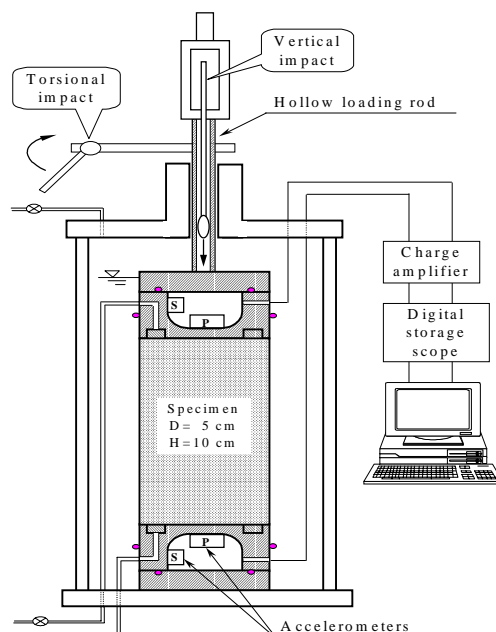


図-1 試験装置概要図

キーワード 不飽和土 弾性波探査 繰返し三軸試験 液状化強度比

〒278-8510 千葉県野田市山崎2641 東京理科大学 電話番号(0471)24-1501(内線4056) FAX(0471)23-9766

る。しかし間隙中には微量の空気が存在している。従って、空気が存在する周囲の剛性は低いが、反対に空気が存在しない部分の剛性は非常に高く、不完全飽和砂の剛性分布は不均質であると考えられる。P波の波動の伝播は高い剛性部分を経由する傾向があるため、不完全飽和砂において、 V_p の実測値は、供試体全体として平均的な見かけの剛性を用いて求めた理論値よりも大きくなると考えられる。よって理論値はその時の飽和度での下限値であるといえる。飽和度が高い状態では供試体中の空気は間隙水より隔離された気泡状態で存在していると考えられ、見かけの飽和度が同じであっても気泡の大小とその分布の差異によって V_p が異なる可能性がある。

なお V_s は、飽和度・B値に関係無く180~190m/secの値である。原位置におけるPS検層の結果では170m/secから200m/secという値であり両者は非常に近い値をとっている。これはせん断弾性係数Gが飽和度またはB値の影響を受けず、S波は骨格構造を伝播するので不完全飽和状態でも速度の変化は生じないためである。また密度の変化が小さいため一定の値を取る事になる。

図-3は飽和度を段階的に変えた新潟砂の液状化試験結果である。図中にはそれぞれ条件であるB値と平均の飽和度及び V_p の値を併記している。既往の試験と同様に液状化曲線は飽和度の低下とともに曲線が上方に移動して液状化抵抗が増加しているのが確認される。この傾向を定量的に表すため、液状化強度曲線から不完全飽和状態の供試体における繰返し回数 $N_c = 20$ の時の応力比 R_u を読み取り、完全飽和状態の応力比 R_s により正規化した値と V_p との関係を調べたものが図-4である。完全飽和状態の時の $V_p = 1660\text{m/sec}$ から $V_p = 730\text{m/sec}$ (飽和度 = 99.3%)まで低下すると液状化抵抗が約2割増加し、 $V_p = 480\text{m/sec}$ (飽和度 = 95.5%)まで低下すると約4割、 $V_p = 400\text{m/sec}$ (飽和度 = 90.0%)まで低下すると飽和時に比べ約8割液状化抵抗が増加する。 V_p が500m/sec以下になると液状化抵抗が著しく増加する傾向がある。また豊浦砂・まさ土で行われている既往の試験結果における正規化液状化抵抗と V_p との関係において良い類似性が見られた。

4. まとめ

不完全飽和砂の液状化抵抗は飽和度の低下とともに大幅に増加し、弾性波P波速度と飽和度との間には良い相関性があることが確認された。従って弾性波P波速度を利用し、乱さない試料を用いることでより原地盤に近い液状化抵抗の評価が可能であると考えられる。

謝辞 本研究において、貴重な御意見ならびに御指導頂いた基礎地盤コンサルタンツ(株)の土谷尚氏、中島敬祐氏に心から謝意を表します。

参考文献 石原・須田・森田・土谷・黄(1999)：不攪乱礫質土の液状化抵抗とP波速度の関係、第34回地盤工学会研究発表会

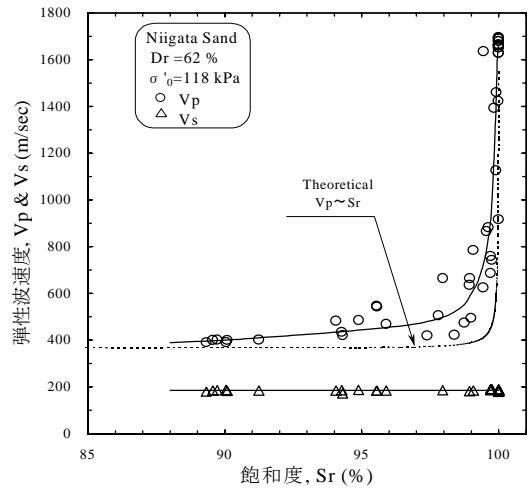


図-2 弾性波速度と飽和度の関係

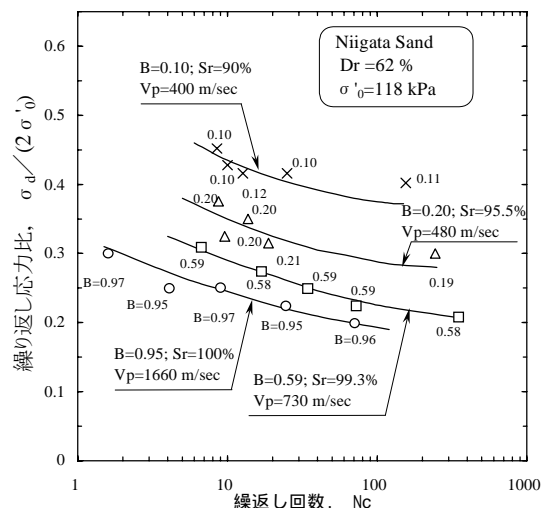


図-3 液状化抵抗への飽和度の影響

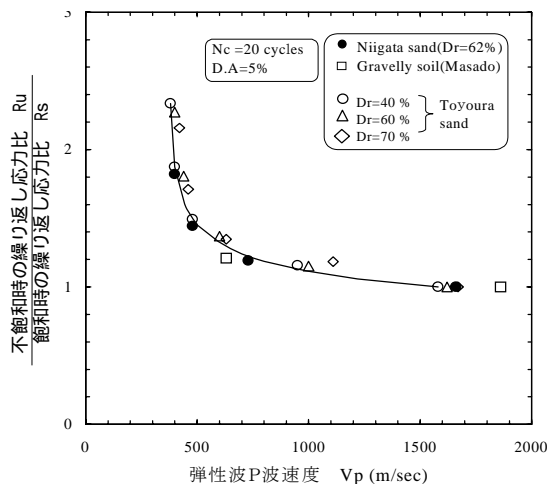


図-4 正規化液状化抵抗と V_p の関係