

飽和度が砂の液状化強度に及ぼす影響

東京理科大学 正会員 ○中澤 博志

東京理科大学 正会員 石原 研而

東京理科大学 学生会員 鎌田 邦夫

日本工営(株) 正会員 大山 敦郎

1.はじめに

従来地下水位以深の地盤は、完全飽和状態にあるという前提条件の下に取り扱われてきた。しかし、既往の研究¹⁾によると、地下水位下浅部の砂層においては、原位置のPS検層から得られたP波速度(V_p)が極めて低い値を示す場合があり、不飽和状態にある可能性が高いという報告もなされている。図-1は新潟県信濃川河口部におけるPS検層結果の一例であるが、通常地下水位以深の砂質土層において完全飽和状態を示す $V_p=1500\sim1600\text{m/s}$ に対し、地下水面下約5mの範囲では $V_p=500\sim1000(\text{m/s})$ に低下している様子がわかる。一方、室内試験に基づく既往の研究²⁾によると、不飽和状態における砂の液状化強度は、完全飽和飽和状態($B=0.96$)における液状化強度よりも大きいことが確かめられている。

本研究では原位置の飽和度を直接測定することが困難であるため、室内試験において1)P波速度と飽和度 S_r 及び間隙水圧係数 B 値の三者の相関性との関係を明確にする 2)不飽和状態における砂の液状化強度の変化について定量的に評価することを目的に、室内において V_p 計測及び非排水繰返し三軸試験を実施した。

2.試験方法

本研究では図-1に示す位置で採取された不攪乱新潟砂(以下新潟砂)、及び豊浦砂を使用した。試料の物理的性質は新潟砂が $D_{50}=0.371(\text{mm})$ 、 $G_s=2.72$ 、 $U_c=1.670$ 、豊浦砂が $D_{50}=0.18(\text{mm})$ 、 $G_s=2.751$ 、 $U_c=1.41$ である。豊浦砂は空中落下法により直径6cm、高さ12cmの供試体(相対密度 $Dr=40, 60, 70\%$)を作製した。供試体に脱気水を通水した後、 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ を保持しながら背圧を負荷することにより飽和度の制御を行った、また、供試体の飽和状況は B 値により把握し、 $V_p\cdot V_s$ 測定は $B=0.1, 0.2, 0.6$

及び 0.96 を示した時に実施した。なお、 $V_p\cdot V_s$ 測定では、三軸試験機のキャップ、ペDESTALにそれぞれ、P波発信子及び受信の加速度計、S波発信子及び受信のペンダーエレメントを内蔵させている。キャップ内部の両発信子はファンクションジェネレータと電圧増幅アンプを通して起動され、ペDESTAL内部の受信子からチャージアンプ、オシロスコープを通して発信された波を受信する。 $V_p\cdot V_s$ の値は、図-2に示すように発信及び受信子間の距離と供試体内の伝播時間から算出した。

$V_p\cdot V_p$ 測定後、平均主応力一定条件の下、非排水繰返し三軸試験を載荷周波数 0.1Hz のsin波で実施し、液状化強度 R_l (軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ 、繰返し載荷回数 $N_c=20$)を求め、試験終了後、含水比を測定することにより S_r を求めた。

キーワード：飽和度、 B 値、P波速度、液状化強度

千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 Tel 0471-24-1501(4032) Fax 0471-23-9766

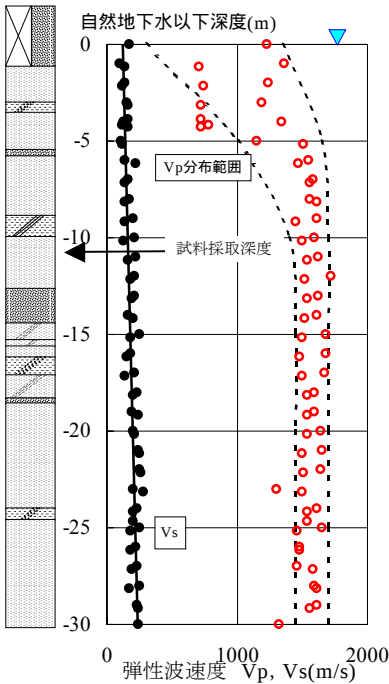


図-1 $V_p\cdot V_s\sim$ 地下水面下深度関係

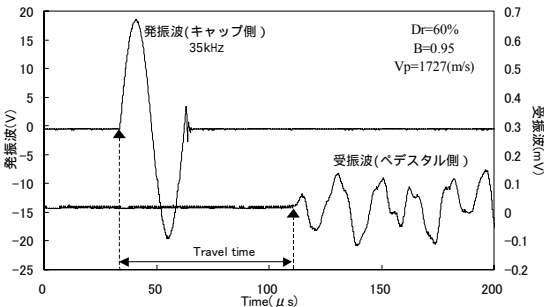


図-2 走時波形の一例(V_p)

3. 試験結果

図-3 に豊浦砂における B 値と S_r の関係を示す。図中の理論値は空気、土粒子骨格及び間隙水の体積弾性係数(K_a , K_b , K_w)から求められる。実験値と理論値を比較すると、B 値に対し S_r は実験値の方が低い値を示しているが、傾向は理論値とほぼ同様である。実験値の飽和度が低い理由として、試験終了後の含水比測定に人為的な誤差が生じてしまったためと思われる。B 0.2 の範囲では S_r の低下が顕著であり、 S_r 90%の範囲では、曲線が $B=0$ に漸近していく様子がわかる。

図-4 に豊浦砂の B 値と $V_p \cdot V_s$ の関係を示す。図中の V_p の理論値は土粒子骨格のせん断弾性係数 G 、水 - 空気混合流体の体積弾性係数 K_{aw} 、間隙率 n 及び B 値から各相対密度において求めたものである。実験値と理論値は両者ともに同様な傾向を示し良く一致している。また、B 0.2 の範囲まで B 値が低下すると、 $V_p=400 \sim 500\text{m/s}$ の一定値に収束してくる様子がわかる。B 値と V_p に良い相関が見られることから、 V_p を計測することで B 値の推定が可能であるといえる。

図-5 は V_p と液状化強度 R_l の関係を示したものである。曲線形状は豊浦砂と新潟砂において若干異なるものの、両試料ともに V_p 500 ~ 600m/s の範囲で液状化強度が急増している。また、豊浦砂では相対密度の違いに関わらず、 V_p の低下に対する液状化強度の増加傾向が同様であることがわかる。

ここで、完全飽和時の液状化強度を R_s 、不飽和状態にある液状化強度を R_u として、図-6 に V_p と正規化液状化強度 R_u/R_s の関係を示す。図-6 は飽和度の低下、すなわち V_p の減少に伴う液状化強度の増加の傾向を示すものであるが、概ね単一の相関関係が得られ、緩～中密の相対密度の範囲に限ると、試料の違いや密度の影響が見られないことがわかる。

4. まとめ

一連の検討から以下の様にまとめられる。

- 1) B 値と V_p に良い相関関係が見られ、B 値の低下に伴い V_p が低下し、ほぼ一定値に収束することがわかった。
- 2) 液状化強度は V_p の低下に伴い V_p 500m/s(B 0.6)の範囲で急増すること、また、概ね $V_p=450\text{m/s}$ で完全飽和時の液状化強度の 2 倍になることがわかった。

以上より、原位置で計測された V_p から飽和度(B 値)の推定が可能であること、また、 V_p を把握することにより、原位置の飽和状況を考慮した液状化強度の推定が可能であると考えられる。

参考文献 1) 狐崎 (1986) : 気泡を含む不完全な水飽和砂層の弾性波の速度・減衰とその応用上の意義, 物理探査 Vol.39, No.5, 42-57

2) Yoshimi et al. (1989) : LIQUEFACTION RESISTANCE OF A PARTIALLY SATURATED SAND, SOILS AND FOUNDATIONS Vol29, No3, 157-162

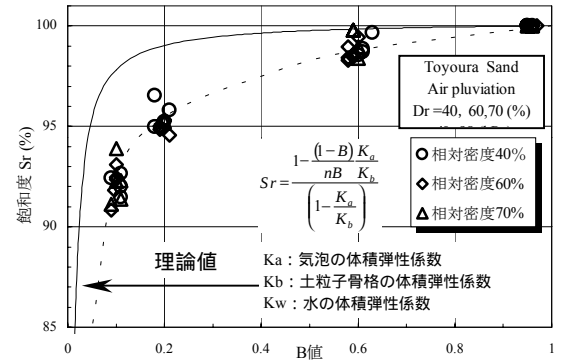


図-3 B 値 ~ S_r 関係

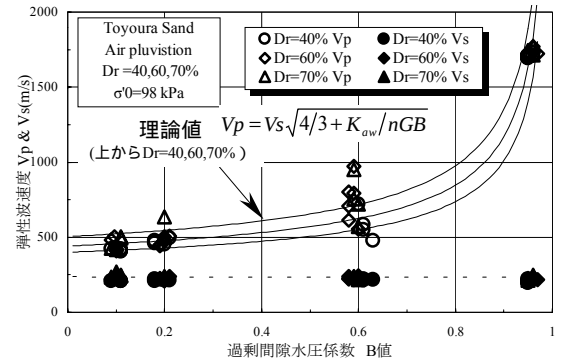


図-4 B 値 ~ V_s , V_p 関係

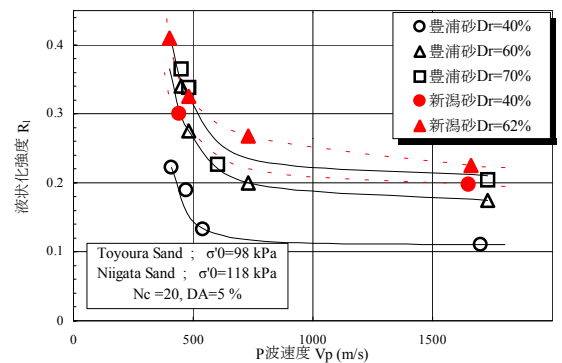


図-5 V_p ~ R_l 関係

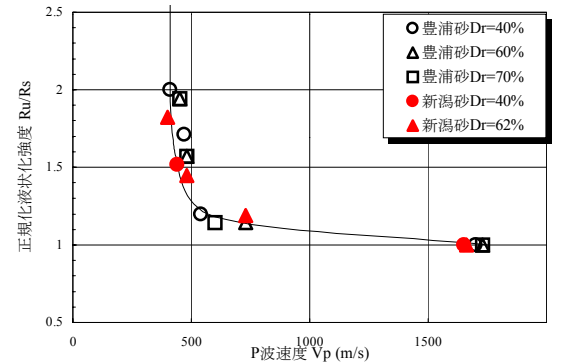


図-6 V_p ~ R_u/R_s 関係