

不完全飽和状態における不攪乱砂質土の液状化強度特性

東京理科大学大学院 学生会員 鎌田 敏幸 東京理科大学 正会員 石原 研而  
 東京理科大学 正会員 塚本 良道 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 中澤 博志

1. はじめに

地盤の液状化判定は地下水位以下の砂質土層が完全飽和しているという前提で実施されている。しかし、地下水位以下浅部の砂質土層は、必ずしも完全飽和状態であるとは限らないことや、不完全飽和状態における砂質土の液状化強度は、飽和度の低下に伴い増加することが明らかになってきている。

そこで、本研究ではボーリング調査とPS 検層を実施し、PS 検層結果により原位置の間隙水圧係数 B 値を推定し、室内試験における飽和条件を求め、非排水繰返し三軸試験を実施したのでここに報告する。

2. 調査概要

ボーリング調査は、埼玉県における中川付近で実施した。その調査結果を図-1 に示す。また、不攪乱試料の採取を図-1 における4 深度で行った。図-1 より、地下水位以下における P 波速度の分布を見ると、浅部では  $V_p=300 \sim 700\text{m/s}$  を示す低 P 波速度領域であることが確認でき、多孔質弾性理論による式 (1) によると、B 値が 0~0.7 程度であることが予想される。また、これより深くなると  $V_p=1600\text{m/s}$  に至り、完全飽和していたものと考えられる。

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right) = \frac{4}{3} + \frac{2(1 + b)}{3(1 - 2b)(1 - B)} \dots (1)$$

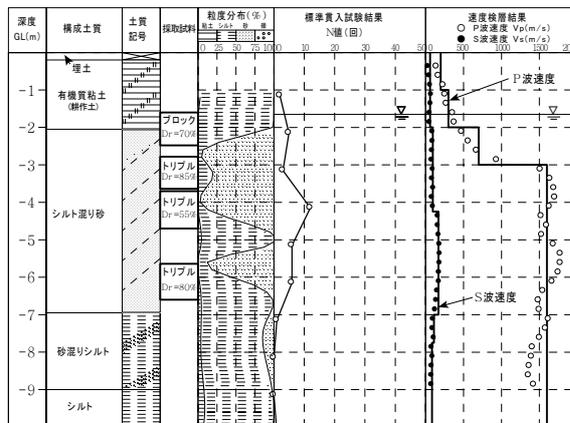


図-1 総合柱状図

3. 室内試験

本研究で使用した試料は、図-1 に示す4 深度で採取した不攪乱試料であり、表-1 にその物性値を示す。試験方法は、供試体に脱気水を通水した後、所定の拘束圧を保持しながら背圧を付加することにより B 値の制御を行った。また、背圧の上昇時に任意の B 値において、ベンダーエレメントにより弾性波速度計測も行い、B 値と  $V_p$ 、 $V_s$  の関係を求めた。供試体が所定の B 値 ( $B=0.1 (V_p \ 350\text{m/s})$ 、 $0.6 (V_p \ 700\text{m/s})$ 、 $0.95 (V_p \ 1600\text{m/s})$ ) を示した後、試験を行った。試験は平均主応力一定条件、有効度被り圧  $\nu'$  相当の有効拘束圧  $c'$  による非排水繰返し三軸試験を載荷周波数 0.1Hz の sin 波で

表-1 試料の物性値

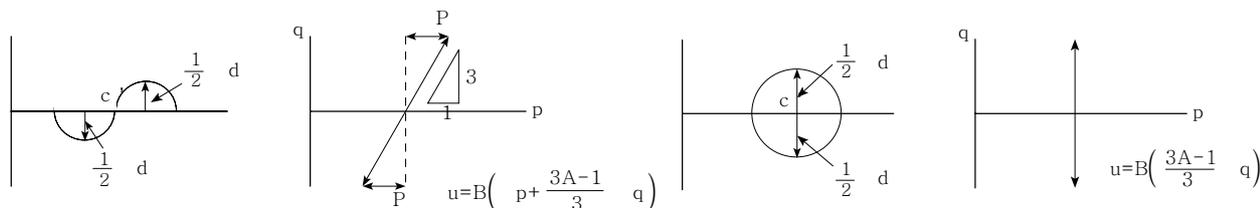
試料	FC (%)	Gs	$e_{max}$	$e_{min}$	$D_{50}$ (mm)	$U_c$	$U_c'$
ブロック GL -2.0m	0.8	2.680	1.064	0.771	0.26	2.73	0.88
トリプル GL -2.80~-3.65m	26.7	2.690	1.194	0.780	0.22	5.40	0.47
トリプル GL -3.60~-4.60m	7.0	2.695	1.107	0.706	0.29	2.81	1.17
トリプル GL -5.50~-6.60m	2.7	2.690	1.157	0.881	0.40	1.73	0.82

実施し、液状化強度  $R_l$  ( $DA=5\%$ 、 $N_c=20$ ) を求めた。なお、載荷条件は図-2 (b) に示すとおりである。図-2 における (a) の側圧一定条件では、B p 項が存在するため、 $B < 1$  の場合には繰返し載荷に伴い平均主応力も連動して変化するが、(b) の平均主応力一定条件では軸差応力と拘束圧を逆位相、応力振幅比 3:1 で供試体に載荷するため、繰返し載荷によるせん断応力のみに応じた過剰間隙水圧  $u$  の測定が可能であり、かつ地震時の地盤内の応力状態をより近く再現していると考えられる。

4. 試験結果

弾性波速度と B 値の関係に関して、既往の研究<sup>1)</sup>で明らかになっているように  $V_p$  と B 値に相関が認められ、キーワード 液状化強度、飽和度、弾性波速度

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学土木工学科 TEL 0471-24-1501(4032) Fax 0471-23-9766



(a) 平均主応力一定条件 (b) 平均主応力一定条件

図-2 載荷条件

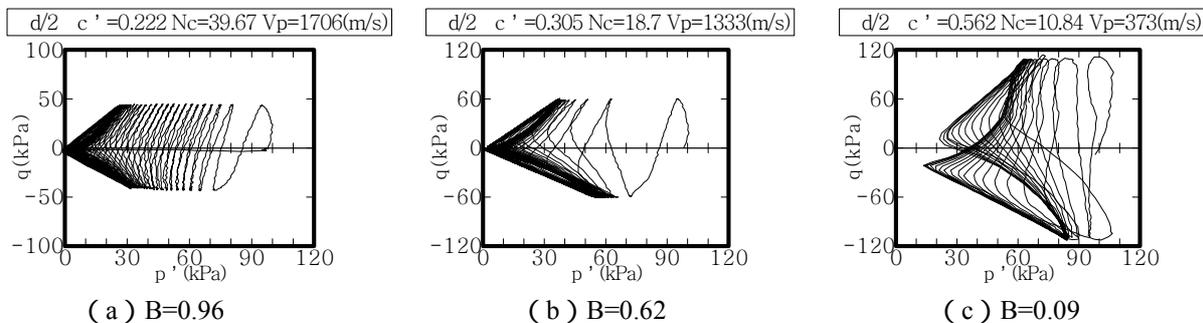


図-3 有効応力経路（ブロックサンプリング試料）

の関係は概ね式(1)に一致していることがわかった。Vs に関しては B 値の値によらずほぼ一定値を示した。

次に液状化強度について述べる。P 波速度低下領域である深度で採取されたブロックサンプリング試料 ( $V_p = 450\text{m/s}$ ) の有効応力経路を図-3 に示す。いずれのデータも、繰返しせん断に伴い有効応力が徐々に減少していることわかる。しかし、飽和状態によってこれらの挙動が異なり、 $B=0.96$ 、 $0.62$  の有効応力経路を見ると、顕著なサイクリックモビリティの挙動を示し、かつ  $u$  が最終的に初期有効拘束圧と等しくなり、液状化に至っているのがわかる。一方、 $B=0.09$  まで飽和度が低下すると、 $u$  が初期有効拘束圧に至らず原点から離れた位置で定常状態に至っているのがわかった。

次に液状化強度について述べる。図-4 にブロックサンプリングの液状化強度曲線を示す。図-4 より、飽和度の低下により液状化強度が増加していることがわかった。液状化強度は、 $B=0.96$  で  $R_l=0.266$ 、 $B=0.65$  で  $R_l=0.306$ 、 $B=0.09$  で  $R_l=0.502$  となった。一連の非排水繰返し三軸試験結果より、完全飽和時、不完全飽和時のそれぞれの液状化強度を  $R_s$ 、 $R_u$  として、図-5 に  $V_p$  と  $R_u/R_s$  の関係を示す。この関係を見ると、概ね相関関係が得られ、 $V_p$  1600m/s から 700m/s まで低下すると  $R_u/R_s$  は 1 から約 1.2 程度まで増加する。 $V_p$  700m/s を下回ると  $R_u/R_s$  は急増し、 $V_p$  450m/s まで低下すると、 $R_u/R_s=2$  を示した。

5. まとめ

原位置で計測された弾性波速度 ( $V_p$ ) を利用し、不完全飽和状態を考慮した液状化強度がある程度推定可能であった。ブロックサンプリングの採取深度付近での P 波速度は約 450m/s であるので、今までの完全飽和状態を前提条件としてきた液状化強度の約 2 倍ということがわかった。

参考文献 1)中澤博志、石原研而、鎌田邦夫、大山敦郎：飽和度が砂の液状化強度に及ぼす影響、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、 -A081、2001 .

謝辞 本研究を遂行するにあたり、都市基盤整備公団 人見孝、田中俊美の両氏の多大なる協力を得た。ここに感謝の意を表する。

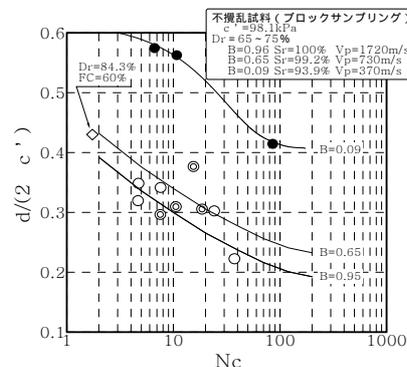


図-4 液状化強度曲線

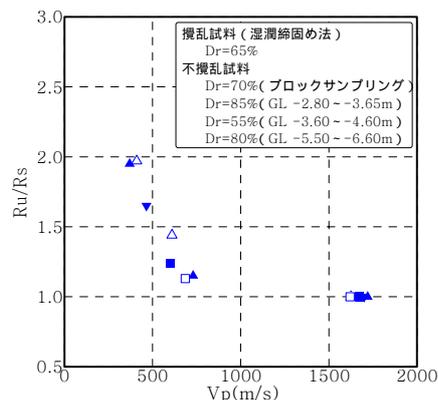


図-5 P 波速度と液状化強度増加率