

液状化判定に用いる液状化抵抗比($\eta/2\sigma_v'$)に関する一考察 —埋立て地盤の P 波速度 V_p と間隙水圧係数 B 値—

応用地質株式会社 正会員 ○澤田俊一

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では関東地方の埋立て地において、地盤の液状化による噴砂・地盤の変状により被害が発生した。この復旧に於いては道路部と宅地を一体化した市街地液状化対策が推進され実施されている¹⁾。埋立て地での地盤調査では地下水位以深でも P 波速度 V_p が 1,500m/sec を下回る不完全飽和状態を示す地盤が確認され、地盤の液状化に対する強度（以下“液状化抵抗比($\eta/2\sigma_v'$)”と呼び“ R ”と記す。）を適切に評価することが求められている。本報告では V_p と間隙水圧係数 B 値との関係を用いて、室内土質試験での完全飽和状態に対する不完全飽和状態の液状化強度増加率 ΔR を求めた。この ΔR を採用した R の設定法を紹介する。

2. 埋立て地盤の P 波速度 V_p

地盤の液状化判定を詳細に評価する場合には、地盤の液状化に対する強度として R をボーリング調査による乱れの少ない採取試料を用いた室内土質試験の繰返し非排水三軸試験で求める。また、地震動の地盤内の増幅特性を把握する目的で PS 検層を実施して V_p を測定している。 V_p は土の飽和度と密接な関係があることが知られている²⁾。しかし、室内土質試験では、表層部の不飽和状態の砂質土に対しても、二酸化炭素や脱気水を用いて完全飽和状態（間隙水圧係数 B 値 ≥ 0.95 ）での試験を実施している³⁾。

埋立て地盤では、自然水位以深でも $V_p \leq 1,200\text{m/sec}$ を示す場合が多く、図-1 に代表的な V_p の深度分布例を示す。概ね関東地方の埋立て地は、地下水位が G.L.-1.0~2.0m 程度にあるものの、 V_p の深度分布図では G.L.-3.0m 程度までは $V_p \leq 300 \sim 800\text{m/sec}$ 、G.L.-3.0m ~ 7.0m 程度までは $V_p \leq 800 \sim 1,200\text{m/sec}$ を示す場合がある。これらの $V_p \leq 1,500\text{m/sec}$ を示す範囲を完全に飽和していない不完全飽和領域と呼ぶ²⁾。

3. P 波速度 V_p と間隙水圧係数 B 値

V_p と間隙水圧係数 B 値の関係は多孔質弾性理論を用いて中澤ら²⁾によって図-2 の様に B 値と V_p の関係が示されている。 V_p の理論値は飽和度 $S_r \leq 99\%$ でほぼ変化が無く一定値を示すが、 $S_r \geq 99\%$ で V_p が急増する傾向にあり、 $V_p = 800 \sim 1,700\text{m/sec}$ で B 値が 0.6~1.0 で変化する。室内土質試験では、供試体レベルで直接 V_p を計測することは困難であるため、 B 値を調整することにより V_p を原位置の状態を想定する。つまり、原位置での PS 検層から計測される V_p を室内土質試験で B 値と読みかえて B 値を調整した繰返し非排水三軸試験の実施により不完全飽和状態の R として算定する。

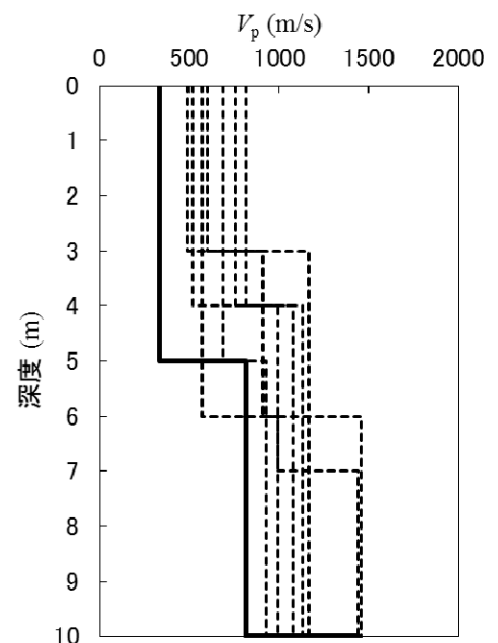


図-1 埋立て地盤での V_p 計測例

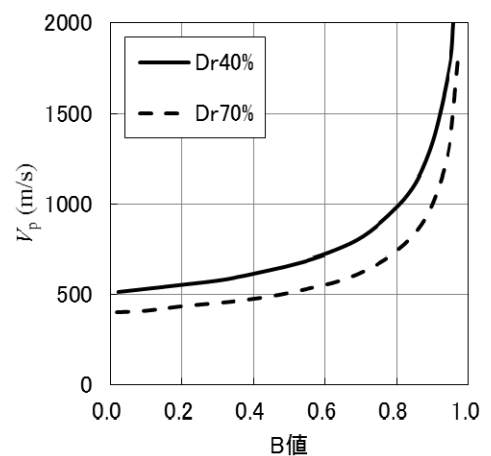


図-2 B 値と V_p ²⁾

キーワード 繰返し三軸試験, 間隙水圧係数, P 波速度

連絡先 〒331-0812 さいたま市北区土呂町 2-61-5 応用地質株式会社 ジオエンジニアリング本部 TEL048(652)0651

4. 不完全に飽和状態の液状化抵抗比 R

2011 年東北地方太平洋沖地震によって液状化被害の生じた関東地方の埋立て地盤において実施された地盤調査で得られた基準³⁾通りに完全飽和状態 (B 値 ≥ 0.95) とした繰返し非排水三軸試験結果の繰返し載荷回数 N_c と繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$ の関係を図-3 に実線で示した。図中には B 値=0.95 以上, 0.90, 0.80, 0.60 と調整した試験結果も併記し, それぞれの関係を破線・一点破線で示した。乱れの少ない同一試料でも, 埋立て地盤の不均質性から B 値=0.8 と 0.9 の関係は逆転している。しかし, B 値が減少すると R は増加する傾向が認められる。 R として軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$, 繰返し載荷回数 $N_c=20$ 回として定義した $R_{L20(B \text{ 値})}$ は, 完全飽和状態とする B 値 ≥ 0.95 に対して B 値の減少と共に $R_{L20(B \text{ 値})}$ がどの程度割り増しできるかを B 値と $R_{L20(B \text{ 値})}/R_{L20(B \text{ 値}=1.0)}$ (以降“液状化強度増加率: ΔR ”と呼ぶ。)として求めた図が図-4 である。 B 値=0.80 (図-2 より $V_p \approx 800\text{m/sec}$) で $\Delta R \approx 1.35$, B 値=0.60 (図-2 より $V_p \approx 600\text{m/sec}$) で $\Delta R \approx 1.70$ であり完全飽和状態で試験した基準 $R_{(laboratory)}$ に ΔR を乗じて原位置地盤の $R_{(in-situ)}$ が算定できる。

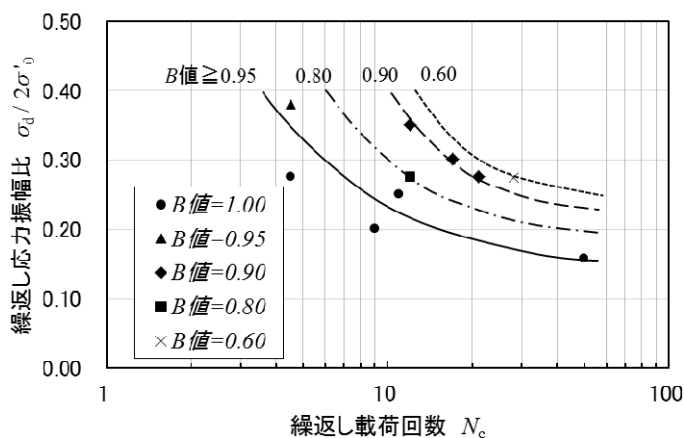


図-3 繰返し載荷回数と繰返し応力振幅比

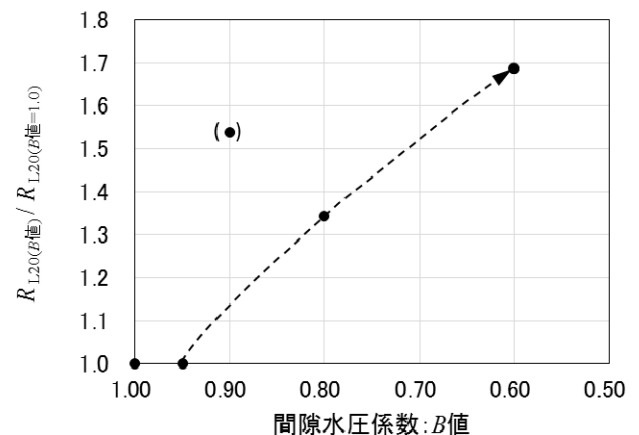


図-4 間隙水圧係数 B 値と液状化強度増加率

5. おわりに

今回提示した地盤データは一調査地点での数少ない採取試料を用いて実施した試験結果であり, 定量的な一般値として評価するには情報が不足している。しかし, 比較的新しい埋立て地盤においては $V_p \leq 1,500\text{m/sec}$ と小さく計測される傾向があり, 不完全飽和状態となっている地盤が存在し完全飽和状態の R よりも高い強度を発揮する定性的な傾向が認められた。このことは, これまで実施してきた試験室で完全飽和状態とした繰返し非排水三軸試験で算出される $R_{(laboratory)}$ に対して V_p により ΔR を介して原位置での地盤の液状化判定を行うことの有効性を示している。

構造物直下の浅部の原位置での地盤の $R_{(in-situ)}$ が大きく影響する小規模建築物等の宅地地盤においては, 地盤の不完全飽和状態の程度に応じて強度増加できる ΔR を適切に算定することが重要となる。今後は原位置での PS 検層と室内土質試験結果を実施した検証事例を増やし, 埋立て地盤における定量的な ΔR の算定手法を確立していく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局, 市街地液状化対策推進ガイドンス, 平成 26 年 3 月, 2014.
- 2) 中澤博志, 石原研而, 塚本良道, 鎌田邦夫, 大山敦郎, 砂の P 波速度及び液状化特性に及ぼす飽和度の影響, 第 26 回地震工学研究発表会公園論文集, pp.625-628, 2001.
- 3) 地盤工学会, 地盤材料試験の方法と解説, 第 6 章土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験, pp.730-749, 2009.