

III-40 手荷地区の不撓乱砂の動的間隙水圧特性と液状化強度

東北大学工学部
同

正員 柳沢 栄司
須藤 良清

1. はしごき

宮城県松島町にある手荷干拓堤防は、1978年宮城県沖地震に際して次下・亀裂など多大な被害を蒙り、アスファルトフェーシングはもとより堤体本体も大きな損傷を受けた。この被災箇所付近には多量の噴砂跡が見られることから、敷砂の液状化が被災の直接的な原因と考えられている。復旧工事にあたってはサンドコンパクションパイルによる地盤改良および鋼矢板の打設を行なったが、この改良効果を知るうえで地盤改良を行なう以前の砂層の液状化強度などについて資料が不足していたため、未改良地区より不撓乱砂を採取して動的試験を行なったので、その結果について報告する。

2. 試料土および実験結果

この干拓堤防は、6~25mの厚さの軟弱な粘土層の上に厚さ約6mの敷砂を行ない、この上に構築されている。この置換砂層は、平均N値が4.38とかなりゆるく、間隙比も大きく、また、場所によっては細粒分をかなり多く含む場合もある。試料土は、未改良地区内において0.5~1mのテストピットを掘り、内径5cm高さ15cmの円筒に刃先をつけたサンドサンプラーを砂層に押し込んで掘りおこし、キャップをみぶせてみ取り出して直ちにドライアイスで冷却して凍結させた。実験室内では-30℃の冷凍庫に保管し、試験に際しては凍結したまま成形して三軸室内にセットし、0.2kg/cm²の拘束圧をかけて8~10時間放置して完全に融解させた。供試体は二酸化炭素で置換された後に脱気水で飽和して水、圧密圧1kg/cm²、バックプレッシャー1kg/cm²をかけた後に、軸差応力 $\sigma_a = 0.40 \sim 0.75$ kg/cm²の範囲で1Hzの正弦波形で試験を行なった。なお、試料土は、比重 2.59 ± 0.01 、 $D_{50} = 0.15 \sim 0.20$ mm、 $U_c = 4 \sim 5$ でシルト分以下を約10%含む砂である。 e_{max} 、 e_{min} はそれぞれ1.75および0.994であり、供試体の平均相対密度は約60%であった。

動的試験で得られた間隙水圧比 u/σ_c と載荷回数比 N/N_c との関係の例を図-1に示す。この図では、応力比 σ_a/σ_c が小さい場合には初期の間隙水圧の増加量が小さく、曲線が下側にあるが、応力比が大きくなると載荷初期の間隙水圧の増加量が大きく、曲線が上側にくる傾向が見られる。同図中、破線で示した曲線は、一度乱した後に同一密度に突固めた供試体について $\sigma_a/\sigma_c = 0.275$ で試験した結果である。乱した試料では比較的直線に近い形で間隙水圧が蓄積されて行き、乱さ

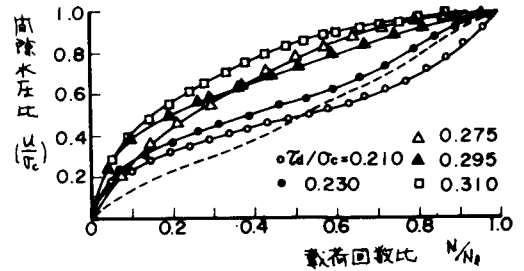


図-1 間隙水圧比と載荷回数比

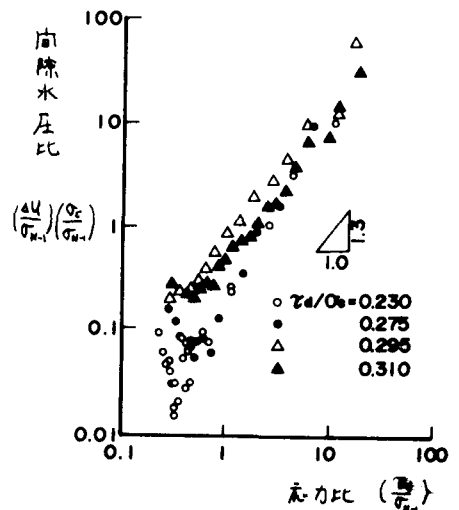


図-2 $(\frac{du}{dN}) (\frac{\sigma_c}{\sigma_{N-1}})$ と $(\frac{\sigma_a}{\sigma_{N-1}})$ との関係

ない材料の間隙水圧特性とはかなりの差が認められる。

3. 動的間隙水圧の算定式¹⁾

柴田等は、 $\frac{\Delta u}{\sigma_{N0}} \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_{N0}} - \frac{T_d}{\sigma_{N0}}$ の間には、直線関係が成立す、

$$\frac{\Delta u}{T_d} = a \left(\frac{T_d}{\sigma_c} \right) \quad (1)$$

の関係が成立すること示している。¹⁾ 手摺砂についてはこの関係を求めて見ると図-2に示すようになる。 T_d/σ_{N0} の小さい場合を除いてほぼ直線関係が成立すが、この直線の傾きは2.0よりやや小さく、ほぼ1.3程度と見るのが妥当なようである。この関係を用いて、N回の載荷により発生する間隙水圧の増分を求める式を書き表すと

$$\Delta u_N = \sigma_{N-1}^{0.7} \times T_d^{1.3} \quad (2)$$

となる。一方、Sherif 等は、応力履歴回数 $\bar{H}$ 、載荷効果回数 $\bar{N}$ 、強度回数 $\bar{I}$ を用いて動的間隙水圧を

$$\Delta u_N = \bar{H} \cdot \bar{N} \cdot \bar{I} \quad (3)$$

で表わされたことを示している。²⁾ 手摺砂に関しては Sherif 等の応力履歴回数形式 $(1-u_{N-1}^*)$ は成立せず、図-3に示すように T_d/σ_{N-1} は

$\Delta u/(1-u_{N-1})^2$ と直線関係にあることが知られた。各回数毎の直線の傾きはほぼ等しく2.5であり、また、各回数毎の直線の方程式からその定数項をNの関数として表わすことにより載荷効果回数は $\bar{N} = 3.5 N^{-0.85}$ と近似できるため、

$$\Delta u_N = 3.5 N^{-0.85} (1-u_{N-1})^2 \left(\frac{T_d}{\sigma_{N-1}} \right)^{2.5} \quad (4)$$

により間隙水圧を近似的に求めることができる。

4. 液状化強度

前項で求めた間隙水圧の算定式(2)および(4)の関係をj用いて、間隙水圧が有効拘束圧に等しくなる回数を計算し求め、液状化強度として記したものが図-4の二つの曲線である。同図中には、比較のために実験より求めた手摺砂

の液状化強度が自丸で示されている。この図から明らかに、式(2)は応力比の大きい場合に実験値とよく一致しているが、応力比の小さいところでは実験値との差が大きい。一方、式(4)の関係は応力比の小さいところでは実験値とよく一致をみるが、応力比の大きいところでは差が見られる。(しかし、これは安全側の誤差ではある。なお、同図中の黒丸は乱石試料についての実験結果であるが、液状化強度については乱石と手摺砂との顕著な差は認められない。

5. おわりに

手摺地区の不飽和砂について動的間隙水圧を求める経験式を求めてみた。手摺干拓堤防の地震応答を求めた上で、間隙水圧の発生量を推定する根拠が得られたので、今後、これらの式を用いて非原型応答解析を進めることが可能となる。本報告をまとめるにあたり、実験を遂行して下さった清水建設K.K.金子勝之氏の尽力に深心の謝意を表します。

参考文献

- 1) 柴田・田中・黒田「繰返し載荷中の過剰間隙水圧」第13回土質工学会研究発表会講演集(1978)
- 2) Sherif, Ishibashi, Tsuchida, "Pore-Pressure Prediction during Earthquake Loading" 土質工学会論文報告集 Vol. 18, No. 4, 1978

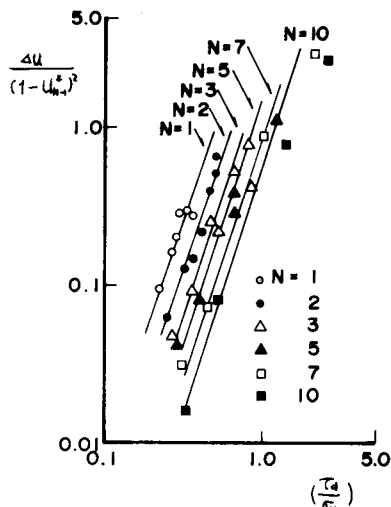


図-3 $\frac{\Delta u}{(1-u_{N-1})^2}$ と $\frac{T_d}{\sigma_{N-1}}$ の関係

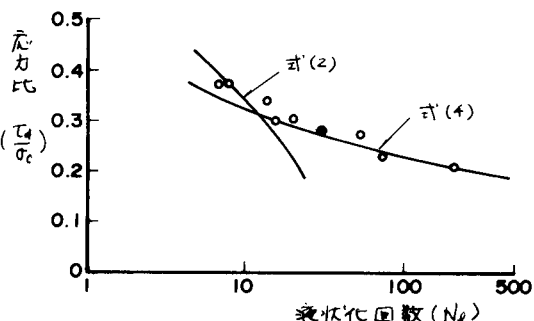


図-4 応力比と液状化回数