年代効果が砂地盤の液状化強度特性に及ぼす影響

愛媛大学大学院	学生会員	○渡邉翔太
愛媛大学大学院	正会員	岡村未対

1. はじめに

砂地盤の液状化強度は、液状化が生じない程度の中小地震履歴を受けることによって増加することが既往の 研究で明らかとなっている¹⁾。三軸液状化試験について、Nelson ら²⁾は繰返しせん断履歴を与えた供試体の液状 化強度がせん断履歴時の体積ひずみε_νとユニークな関係にあることを示した。しかし実地盤の液状化強度を変 化させる水平土圧へのせん断履歴の影響は不明である。そこで本研究では遠心模型装置を用いて、砂地盤に液 状化が生じない程度の加振を与え、加振履歴による水平土圧と液状化強度の変化を明らかにするとともに三軸 試験との比較を行う。

実験条件・方法

本研究では、奥行き 12 cm×幅 40 cm×高さ 22 cmのせん断土 槽内に図1に示す模型を作製し、25g 場で加振実験を行った。 地盤は豊浦砂を用い、空中落下法で相対密度 Dr=50%層厚 12 cmの地盤を1 cm毎に作成し、加速度計、水圧計、変位計を設 置した。地盤内に設置した変位計は、地盤の沈下挙動に追随 するよう重量と長さを調整し使用した。模型地盤は 25cSt の メトローズ水溶液を用いて飽和させた。本研究では、液状化 しない程度の小さな加振を繰り返し与え、これにより生じた 体積ひずみ ε_vが目標値に達した時点で、液状化実験を行った。

本研究では、加振履歴を与えない Case1 と、Nelson らの三 軸試験条件を参考に体積ひずみが $\varepsilon_{v}=0.0033$ または 0.0077 と なるまでそれぞれ 9 回, 17 回の小加振履歴を行い、その後液 状化実験を行った Case2, 3 の合計 3 つの実験を行った。加振 履歴のない場合の三軸液状化強度は 0.13³⁾であり、本実験の Case1 では 10.2m/s²の入力加速度で液状化すると予測できた。 そこで、Case1 ではこれよりもやや大きな加速度で加振を行い、 地盤を液状化させた。Case2, 3 では加振履歴を与える際、過 剰間隙水圧の上昇に留意し、十分に小さい加速度で加振を与 えた。加振履歴は 8~20Hz の正弦波 1 秒間の加振を 1 ステッ プとし、各ステップ間は過剰間隙水圧が完全に消散するまで 間隔を開け、次の加振を行った。Case2 では 10 ステップ目に、 Case3 では 18 ステップ目に大きな加速度で加振し地盤を液状 化させた。また Case1, 3 では液状化実験の次のステップで、



本来の液状化強度に対応する約 10m/s²の入力加速度での加振を行った。図 2 に各 Case の加振ステップの入力加 速度振幅,最大過剰間隙水圧比,および加振後の地盤の相対密度を示す。本論文では結果を全て模型スケール で表すことにする。

3. 実験結果

(1)加振履歴による体積ひずみと液状化強度:図3にCase3の加振履歴時のおける各ステップの深度毎の累積 沈下量を示す。破線で示した近似線で体積ひずみを求めた。図2に示すように加振履歴によるDrの増加は最大 でも 4%程度であり,液状化強度に影響を与えるほどのものでは ない。しかし入力加速度は,加振履歴を与えることで本来液状化 するはずの 10.2m/s²(破線)を大きく超え,液状化強度が増加し ていることが分かる。しかし一旦液状化した直後の再液状化実験 では,Drが大きく増加しているにも関わらず,10.5 m/s²で液状化 した。こうした液状化強度の増加傾向と相対密度の傾向は Case2 でも確認できる。以上のことから,遠心模型実験でも三軸試験同 様,加振履歴による液状化強度増加と減少がみられた。

(2) 三軸試験との比較:上述した液状化強度増加は、遠心模型 実験の場合、加振履歴による砂の液状化強度増加と水平土圧 の影響の二つを含んでいることが考えられる。そこで本研究 では加振履歴の水平土圧への影響を調べた。図1の模型図に 示した土圧 A, B を用いて測定した Case3 の静止土圧係数 K₀ を図4に示す。静止土圧係数K₀は、加振履歴を与えることで 上昇し,液状化し等方応力状態になることで1に達した。し かし加振履歴中の増加は、液状化しない限り 0.6 程度で頭打 ちになり 0.42~0.58 の範囲で収まっている。そこで本研究では K₀を加振履歴によらず 0.5 とし, 累積損傷度法を用いて Case1 ~3の液状化した加振ステップでの地盤液状化強度を計算し た。ここでは、液状化した時点までの入力加速度波形の各ピ ーク値から地盤中央深度でのせん断応力比(CSR)を求め、 液状化した時点で累積損傷度が1となるように次式の液状化 強度曲線のR₁(繰返し回数N=1に対応するせん断応力比)を 求めた。

 $log(CRR) = R_1 - 0.132 log(N)$ (1) なお、Nelson らの三軸試験結果では加振履歴により液状化強 度が上昇しても、強度曲線の傾きはほぼ一定であったことか ら、式中の係数(-0.132)は一定とした。図5にFred らの三軸 試験による液状化強度曲線と、遠心模型実験での液状化強度 を示す。三軸試験と遠心模型実験の結果は良く整合している。 このことから、遠心模型実験でも三軸試験同様、加振履歴に よる液状化強度の増加は体積ひずみ ε_v によって定量的に評 価でき、静止土圧係数 K_0 が変化することの影響は小さいことがわかった。



4. まとめ

地盤が液状化しない程度の中小加振履歴を地盤に与えると、液状化するときの加振加速度は大幅に増加した。 本研究での中小加振履歴による相対密度増加は高々4%、静止土圧係数の増加は0.15程度であった。本研究の模型地盤の地盤液状化強度を求めたところ、加振履歴中に生じた体積ひずみε、に応じて増加したことがわかった。 この液状化強度と体積ひずみの関係は、三軸試験から得られたものと一致し、これからも水平地盤の加振履歴 による水平土圧の増加が地盤の液状化強度に及ぼす影響は小さいことを確認した。

【参考文献】1) Fin,W.D ら: Effect of strain history on liquefaction of sand, ASCE Vol.96, No.SM6, pp.1917-1934. (1970), 2) Nelson F. and Okamura M.: Effects of the volumetric strain due to pre-shaking on liquefaction resistance, 16th World conference on earthquake, 16WCEE2017, 3) 龍岡文夫, 越智健 三, 藤井信二: Effect of sample preparation method on cyclic undrained strength of sand in triaxial science and torsion shear tests(1984)