

上部に難透水層を有する飽和砂層の液状化挙動に関するカラム振動実験

日本大学 工学部 学生会員 ○木田 晃平
 日本大学 工学部 非会員 片岡 侑大
 日本大学 工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年、2018年北海道胆振東部地震といった大地震の度に、軟弱な砂地盤で液状化が発生している。液状化に伴う噴砂、側方流動及び地盤沈下は、主要動が終わってから、数分から数時間かけて時間遅れを伴いながら発生したことが、既往の地震で目撃されている。このような時間遅れを伴う地盤変状の再現が試みられてきた。しかし、既往実験の多くは、地震動を停止すると液状化層の過剰間隙水圧が速やかに消散し、高い被圧状態を保持できず、現場と異なる挙動になっていると考えられる。

そこで本研究では、被圧状態を長く保持するために、緩い飽和砂層の上に透水性が低い粘土地盤を作製したカラム振動実験を行って、測定した過剰間隙水圧分布の時間変化から、非液状化層が飽和砂層の液状化挙動及び過剰間隙水圧の消散に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

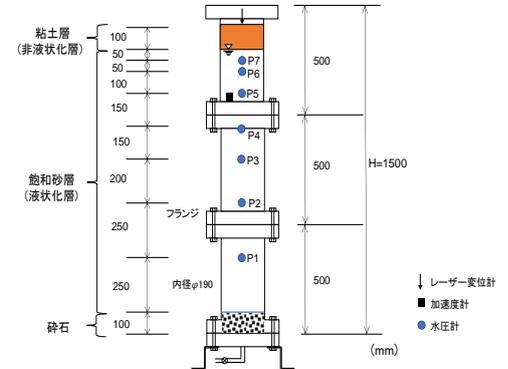


図-1 実験装置の概要

2. 実験概要

図-1に実験装置の概要を示す。

装置は、高さ 50cm、内径 19cm のフランジ付きアクリルパイプを用い、3 段重ねとした。また、底板には注水管を取り付け、鉄製の台座により振動台に設置した。

砂層には東北珪砂 6号を用いた。その物理特性は、 $\rho_s=2.597\text{g/cm}^3$ 、 $e_{\max}=0.846$ 、 $e_{\min}=0.528$ 、 $D_{50}=0.38\text{mm}$ 、 $k=5.62 \times 10^{-4}\text{m/s}$ である。非液状化層には不透水とみなすことができる大石田粘土を用いた。その物理特性は、 $\rho_s=2.509\text{g/cm}^3$ 、 $w_L=91.2\%$ 、 $w_p=27.1\%$ 、 $I_p=64.1$ 、 $k=1.41 \times 10^{-9}\text{m/s}$ である。地盤は、下部より 10cm の砕石層、120cm の砂層とした。砂層は空中落下法により作製し、相対密度は約 30%に調整した。地盤作製後、下部より CO₂ 注入し、さらに脱気水を注水して飽和させた。その後、飽和砂層の上に層厚 10cm の粘土層を作製した。粘土の含水比が非液状化層の変形追従性に影響すると考え、含水比を Case1 では 58.6%、Case2 では 97.4%とした。加振波は sin 波とし、周波数 5Hz、継続時間は 1 分間とし、最大加速度は 100Gal とした。加振には二次元永久磁石地震波振動台を用いた。測定項目は、カラムの加速度、地表面の鉛直変位、砂層の間隙水圧(7 深度)である。水圧計は小型間隙水圧計(Sensez 製: HWT-8V0-020KP-05-100)を用いた。

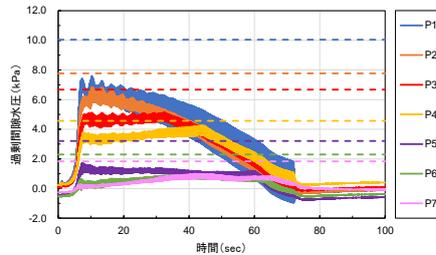


図-2 Case1 の過剰間隙水圧

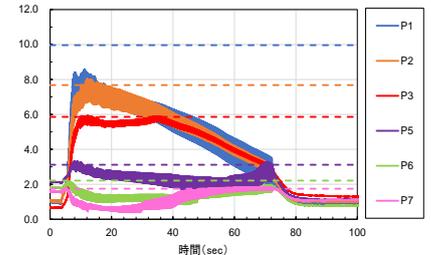


図-3 Case2 の過剰間隙水圧

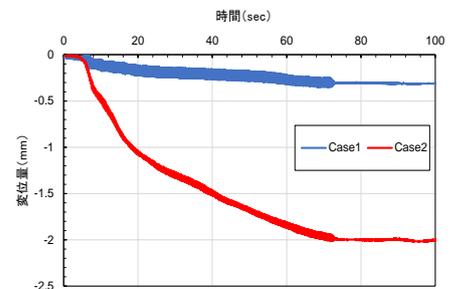


図-4 粘土層の鉛直変位

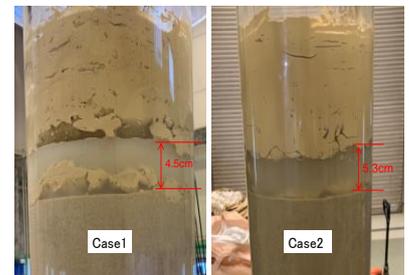


写真-1 砂層と粘土層の境界

3. 実験結果

図-2に Case1 の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。図-3に Case2 の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。図中には地下水位が非液状化層と砂層の境界にあるとした時の初期有効上載圧を点線で示した。図より、Case1 ではすべての箇所ですべての筒所で初期有効上載圧に達していないことがわかる。一方、Case2 では P1 以外の筒所で初期有効上載圧に達している。このような差が生じた原因は、粘土層の沈下に対する追随性が影響していると考えられる。詳細については後述する。また、Case2 では、上部の過剰間隙水圧(P5~P7)は1度消散してから再び上昇している。これは、下部の過剰間隙水(P1~P3)が消散し、間隙水が上部に移動したためである。

図-4に粘土層の鉛直変位量の時刻歴を示す。写真-1は試験終了時の砂層と粘土層の境界部分の液状化後の様子である。図と写真より、Case1 の場合、粘土層の鉛直変位はほとんど発生しておらず粘土層の変形が拘束された。また、粘土層作製時に残留した空気の層が現れている。そのため、Case1 では粘土層の荷重が砂層に伝播しなかったと考えられる。一方 Case2 の場合、Case1 と比較し粘土層の鉛直変位が大きく、粘土層はある程度の沈下に対する追随性を有している。

図-5と図-6に Case1 と Case2 の過剰間隙水圧の等時曲線を示す。図中には液状化により乱れた砂層の境界部分を赤線で示し、その境界部の拡大写真を写真-2に示す。Case2 は Case1 と比較して液状化が生じた深度が約 15cm 深くなった。これは、前述の粘土の追随性に加え、Case2 では粘土層が過剰間隙水圧の消散を抑えたことにより、深くまで液状化したと考えられる。液状化による砂層の再圧密体積ひずみは Case1 が 3.8%で Case2 が 4.4%となった。写真-2 とこの体積ひずみの値より、Case1, Case2 ともに液状化していたことがわかる。前述のように、Case1 では粘土層の追随性が無く、粘土層の上載圧が砂層に伝播していないため、図中に粘土層無しの場合の初期有効上載圧も示した。図より、Case1 でもこの初期有効上載圧に達しており、液状化するという評価となった。また、Case2 では、図-7に示したように P5~P7 は開始直後に高い値を示している。これは、砂層の沈下にあわせて粘土層がある程度沈下し、粘土層の荷重が伝播したためであると考えられる。

4. まとめ

表層の非液状化層が飽和砂層の液状化挙動及び過剰間隙水圧の消散に及ぼす影響を明らかにするためカラム振動実験を行い、以下のことがわかった。

- 1)粘土の沈下に対する追随性があることにより、過剰間隙水圧が高い値を示し、より深くまで液状化した。
- 2)粘土の沈下に対する追随性があることにより、砂層上部は過剰間隙水圧が一旦消散した後、再び液状化することが観測された。

今後は粘土層の沈下に対する追随性を高める工夫とともに、センサーケーブルからの圧力の消散の影響をなくすように改良した実験を行う予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K04604 の助成を受けたものです。記して謝意を示します。

参考文献

- 1)松能直登・森 洗平・仙頭紀明, (2020):表層非液状化層の影響に着目したコラム載荷実験, 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会, III-30.

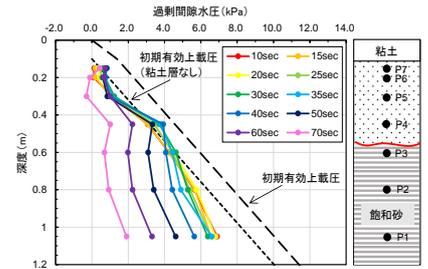


図-5 Case1 の等時曲線

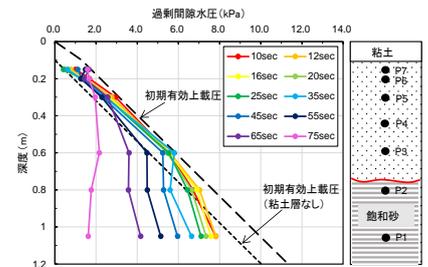


図-6 Case2 の等時曲線



写真-2 堆積構造が乱された砂層の状況

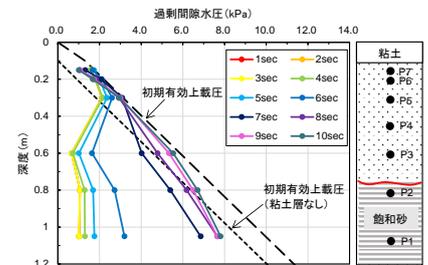


図-7 Case2 の等時曲線 (0~10sec)