広島大学大学院工学研究科 学生会員 〇高町 茉莉

- 元広島大学大学院工学研究科 松野 隆志
- 中電技術コンサルタント株式会社 正会員 北出 圭介

広島大学大学院工学研究院 正会員 一井 康二

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により,千葉県浦安市の埋立地では大きな液状化被害が発生した.液状化被害は人工地盤,特に埋立地で発生しやすく,種々の工場や住宅が建設されていることを考えると,埋立地の液状化特性を把握することは重要な課題である.

長い年月を経て堆積した自然地盤は様々な材料で構成されており、不均質性を有している.そのため、自 然地盤中に粘性土が含まれている場合には、圧密沈下の進行にばらつきが生じ、不同沈下が発生することが ある.同様に埋立地のような人工地盤も、地盤材料や施工方法等の様々な要因により不均質性を有している 場合がある.例えば、主に砂質土で構成された人工地盤下部の粘性土地盤に不同沈下が発生した場合、地盤 内応力の分布が不均一となる.しかし、このような地盤内応力の変化が、埋立地盤の液状化特性に与える影響 については未だ明らかにされていない.そこで本研究では、粘性土地盤に不同沈下が発生した場合の液状化特 性の変化について検討することを目的として、遠心載荷装置を用いて不同沈下を模擬した埋立地盤模型の振 動実験を行った.

2. 実験方法

本研究では、不同沈下による地盤内応力の 変化が液状化特性に影響を及ぼしているこ とを確認するため、京都大学防災研究所¹⁾の 遠心載荷装置(図⁻¹)を用いて、不同沈下を 模擬した地盤の振動実験を行った.土槽に作 用させる静的遠心加速度を 50G とし、土槽の 下層部に不同沈下を発生させた状態で加振 を行った.加振時の入力波は正弦波で、周 波数は 1Hz、継続時間は 10 サイクルとし た.最大加速度 100gal、150gal、200gal の計 3 回を順番に土槽に作用させた.入力 波の概形を図-2 に示す.

土槽の断面図,俯瞰図及び土圧計と間隙 水圧計の設置個所を図-3に示す.まず,土槽 容器の底面に不同沈下を発生させる落とし 戸模型を設置し,その上に落とし戸が落ち た時に上層地盤の沈下形状が滑らかになる ように,シリコンゴムを設置した.シリコ ンゴム上層の砂地盤には豊浦砂を使用し, 目標相対密度を50%として,水中落下法で 飽和砂地盤を作成した.



図-1 本実験で使用した遠心載荷装置 1)



実験ケースは地表面が水平である場合と、盛土を設置した場合の2ケースを行った.なお、2つのケースにおいて、地表面形状以外の条件は全て同じとした.盛土には、密度が1.37g/cm³のシリコンゴムを使用した.



(a)土槽断面図

(b)土槽俯瞰図

図-3 土圧計と間隙水圧計の設置箇所

3. 不同沈下による地盤の液状化特性の変化

3.1 地表面が水平地盤の場合

図・4 に実験終了後の土槽の地表面写真,図・5 に遠心力載 荷・加振前後の土槽の断面写真を示す.図・4 より,実験後は 間隙水として使用した水が地表面に溢れていることが見て取 れる.これは,遠心力載荷・加振によって地盤が圧密される ことで地表面に間隙水が溢れたことか,完全に地表面が液状 化したことが考えられる.また,図・5 より実験後は砂質土地盤 の底面で沈下が発生しており,土槽内に設置したマーカーが沈 下部分に沿って下に凸に変形していることが見て取れる.この 変形は,地盤底面の不同沈下が影響していると考えられる.

次に,静的遠心力載荷時の不同沈下中心部(図-3中のPos.1) に設置した鉛直土圧計,水平土圧計の計測結果を図-6,図-7に それぞれ示す.図-6,図-7より,鉛直土圧も水平土圧も,計測 土圧が10G場の時点で理論値から外れて最終的に10~50kPa ほど理論値と異なるという計測結果が得られた.また,鉛直土 圧は理論値より小さくなっているが,水平土圧は理論値より大 きくなっていることがわかる.これらの土圧の変化は,不同沈 下により発生するアーチ効果の影響だと考えられる.鉛直土 圧の低下については,不同沈下部を中心に発生したアーチ効 果により,アーチ上載の鉛直土圧が受け持たれ,アーチ内部 の地盤がゆるんだことが原因だと考えられる.また,水平土 圧の増加については,アーチ効果により,アーチ内部に水平 方向の圧縮力が作用したことが原因として考えられる.アー チ効果の模式図を図-8に示す.



図-4 実験後の土槽地表面



図-5 実験前後の土槽断面図



また、図-9に100gal加振時の過剰間隙水圧比の時刻暦を示す.過剰間隙水圧比は、式(1)により定義した.

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_{h0}} = \frac{u - u_0}{\sigma_{h0} - u_0} \tag{1}$$

ここで、 Δu :間隙水圧の上昇量 (kN/m^2)、 σ_{h_0} : 初期水平有効応力(kN/m^2)、U:間隙水圧(kN/m^2)、 u_0 :初期間隙水圧(kN/m^2)、 σ_{h_0} :初期水平応力

(kN/m²)である.図-9より,加振により過剰間隙水 圧比の上昇程度は場所によって差が出ており,最も上 昇の程度が大きいのは不同沈下が最大の位置と不同沈 下の影響を受けない位置の中間点であることがわかる. このように,地盤底面に発生する不同沈下の影響で, 過剰間隙水圧が上昇し易い地点が発生することが明ら かとなった.なお,Pos.3とPos.6の位置の間隙水圧 は,センサーの故障のため計測ができなかった.



図-9 100gal 加振時の過剰間隙水圧比の時刻暦

3.2 地表面に盛土が形成された場合

静的遠心力載荷時の不同沈下中心部(図-3中の Pos.1)に設置した鉛直土圧計,水平土圧計の計測結果を図-10, 図-11にそれぞれ示す.地表面が水平であるケースと同様,鉛直土圧は理論値より小さくなっており,水平土圧は 理論値より大きくなっていることから,本ケースでも不同沈下により地盤内にアーチ効果が発生していると考え

られる.また,理論値と計測値の差が水平地盤の場合より大きいことから,地表面に盛土を形成した方が地盤内のアーチ効果が大きくなっていると考えられる.



図-12 に、100gal 加振時の過剰間隙水圧比の時刻暦 を示す.地表面が水平である場合と同様,加振時の過 剰間隙水圧比の上昇程度は場所によって差が見られ, その場所は不同沈下が最大の位置と不同沈下の影響を 受けない位置の中間点であることがわかる.しかし本 ケースでは遠心力載荷中に土槽のアクリル板にひび割 れが発生し,そこから水が漏れだしていたため,間隙 水圧の上昇程度が小さかった.そのため,過剰間隙水 圧比の上昇程度も小さくなっている.また,水平地盤 のケースと同様, Pos.3 と Pos.6 の位置の間隙水圧は 計測ができなかった.



図-12 100gal 加振時の過剰間隙水圧比の時刻暦

- 4. まとめ
- 不同沈下の発生により、不同沈下中心部の水平土圧が理論値より大きくなり、不同沈下中心部の鉛直土 圧は理論値よりも小さくなることが確認された.これらは、不同沈下の発生により、地盤内にアーチが 形成されたことが原因と考えられる.また、地表面が水平である場合と地表面に盛土が形成された場合 を比較すると、盛土がある方が土圧の変化が大きくなっていた.
- 加振により、過剰間隙水圧比は不同沈下が最大の位置と不同沈下の影響を受けない位置の中間点で最も 増加していた.これにより、不同沈下の影響で過剰間隙水圧が上昇し易い地点があることがわかった.

≪謝辞≫

実験は,京都大学防災研究所との共同研究の一環として実施した。実験に際しご指導頂いた飛田准教授,富阪 技官をはじめ関係者各位に謝意を示します.

参考文献

京都大学防災研究所."京大防災研 遠心載荷実験室" 2013-03-28.
https://sites.google.com/site/centrifugej/,(参照 2013-04-08).