

地下水位以浅に埋設された管路の液状化時鉛直変位挙動

遠心模型実験，埋設管，液状化

愛媛大学工学部 学生会員 ○山本太一朗
正会員 小野耕平
正会員 岡村未対

1. はじめに

埋設管路の地震被害として，液状化の発生による管体の浮上およびそれに伴う継手部の抜け出しが一般的である。その一方で，東北地方太平洋沖地震では地下水位以浅に埋設された管路がより下層の液状化の発生に伴って沈下被害を起こした事例がいくつか報告されている¹⁾。現行の各種設計基準では地下水位以浅に埋設された管路は液状化対策の検討外となっており，詳細な被害メカニズムの解明が求められている。そこで本研究では，非液状化層に埋設された管路の鉛直変位挙動を遠心力場での加振実験により調べた。

2. 実験概要

模型地盤の概要図を図1に示す。実験には，内寸が幅430 mm，高さ230 mm，奥行き120 mmのジュラルミン製剛土槽を使用した。前壁面はアクリル板であり，地盤内の変位挙動を観察することができる。地盤材料には表1に示す豊浦砂を使用し，間隙水圧計と模型管を設置しながら目標相対密度40%（乾燥密度：1.45 g/cm³）となるように空中落下させた。模型管は直径20 mm，長さ120 mmで見かけの密度を変更したものを3種類作製した（表1）。模型管の両端には不織布を貼り，壁面摩擦の軽減を図った。模型管は互いに影響を及ぼさない距離を保って2本並列に設置し，管直上の地表面には変位計を設置した。Case1 では表1に示すPipe0.5とPipe1.1を，Case2ではパイプPipe1.1とPipe1.8を埋設した。

真空槽内で地盤内の空気を二酸化炭素に置換した後，粘性40 cStに調整したメトロズ水溶液で地表面まで飽和させた。遠心加速度を40 gまで上昇させた後，土槽の両側面に接続したソレノイドバルブを開放し，水位を地表面から-50 mm（原形スケール：-2 m）まで低下させた。その後，原型スケールで加速度150 gal，卓越振動数0.75 Hzの正弦波を40秒間入力した。本論では，実験結果は原型スケールで示す。

3. 実験結果

図2にCase1における入力加速度，過剰間隙水圧比（以下，水圧比），埋設管の鉛直絶対変位量，地下水位上昇量の時刻歴を示す。水圧比は土槽底面における計測結果であり，間隙水圧の変動を初期鉛直有効応力で除すことで求めた。管変位量と水位上昇量は撮影した画像から判読し，分解能は原形スケールで約0.7cmである。

水圧比は加振開始後約10 s（*t*₁）で1.0に達しており，地盤深部まで液状化に至ったことがわかる。液状化の発生に伴ってPipe1.1のみ沈下方向に大きく変位を開始しており，飽和地盤の有効単位体積重量が9 kN/m³程度であることを勘案すると，管の自重による沈下であると判断される。加振終了後（*t*₂），即座に水圧の消散が開始され，それに伴いいずれの管も大きく沈下している。管の沈下は100 s程度（*t*₃）で停止しており，これは地下水位の上昇が停止する時間と概ね一致している。すなわち，液状化発生後に地盤が圧密沈下する過程において管の沈下が進行したものと推察される。

図3にPIV解析から求めた地盤の変位ベクトル分布を示す。図2に示す液状化過程（*t*₁-*t*₂）および圧密過程

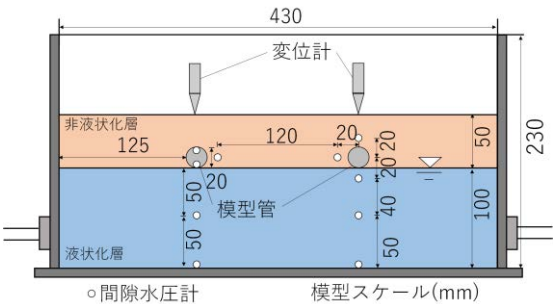


図1 模型概要図

表1 模型地盤と模型管の諸元

土粒子密度 ρ_s	(g/cm ³)	2.66
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.66
最小乾燥密度 ρ_{dmin}	(g/cm ³)	1.35
飽和密度 ρ_{sat}	(g/cm ³)	1.91
見かけの単位重量 Pipe1.8	(kN/m ³)	17.9
見かけの単位重量 Pipe1.1	(kN/m ³)	10.4
見かけの単位重量 Pipe0.5	(kN/m ³)	4.6

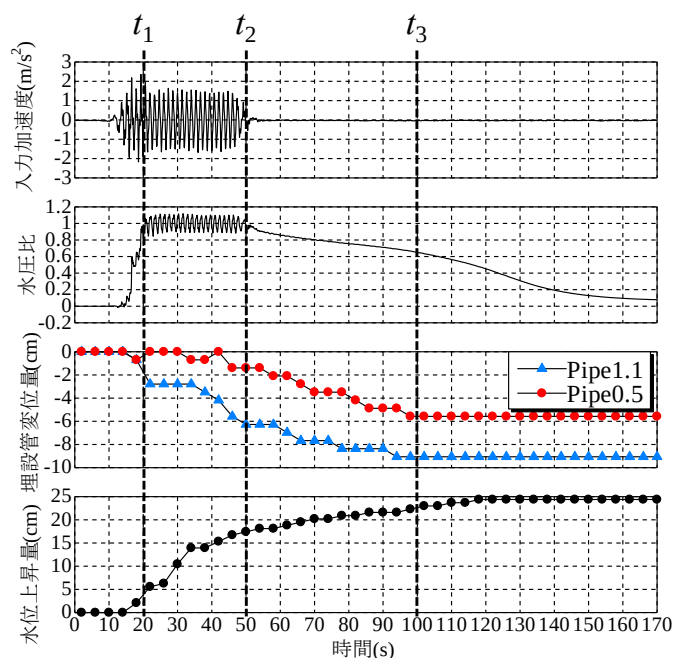


図2 各時刻歴

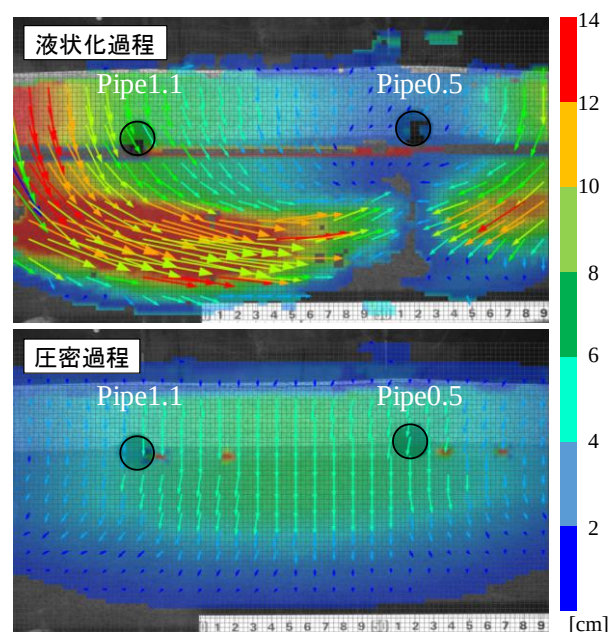


図3 地盤の変位ベクトル分布

(t_2 - t_3)の前後2枚の画像を用いてベクトルを算出した。図より、液化化層の変位に比較して、管周辺の変位は相対的に小さいことがわかる。その中で、Pipe0.5に比較してPipe1.1の沈下量が大きい様子が捉えられている。一方で、圧密過程においては、非液化化層は鉛直方向に概ね一様に変位している。図2で示された圧密過程の管の動きは、剛性を保つ非液化化層の動きに追従して管が移動したことによるものと考えられる。

図4に模型管の見かけの単位体積重量と鉛直絶対変位量の関係を示す。ここでは変位量を液化化過程と圧密過程に分けてプロットしている。液化化過程の管の沈下量は単位重量に概ね比例して増加していることがわかる。その一方で、圧密過程の沈下量に関しては単位重量との相関は小さい。ここで、図5に各模型管における地表面変位量に対する相対変位量を示す。いずれも圧密過程における相対変位量の変化は液化化過程に比較して小さく、すなわち地盤と管が一体化して沈下していることが示されている。以上より、液化化発生後においては、埋設管の沈下量は管の重量に依存せず、圧密に伴う地盤の体積変化に大きく支配されることが明らかとなった。

4. まとめ

地下水位以浅の非液化化層に管が埋設された状態を再現し、液化化の発生に伴う管の鉛直変位挙動を調べた。液化化発生時には管の沈下量は自重に応じて増加するのに対し、液化化発生後は非液化化層と埋設管が一体化して沈下することにより、管の沈下量は管の自重に影響されないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 宮本ら：液化化に起因する上水道管路の被害特性などに関する調査，土木学会論文集 A1, Vol.71 (4), 983-994, 2015.

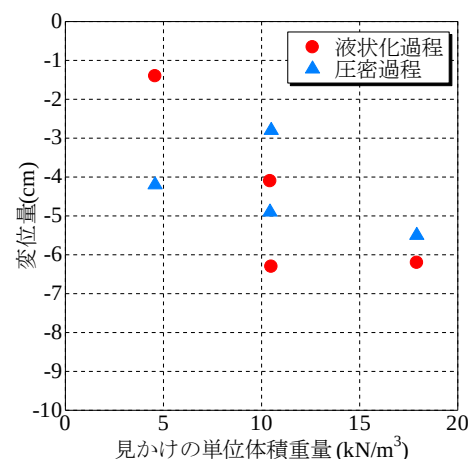


図4 見かけの単位重量と絶対変位量の関係

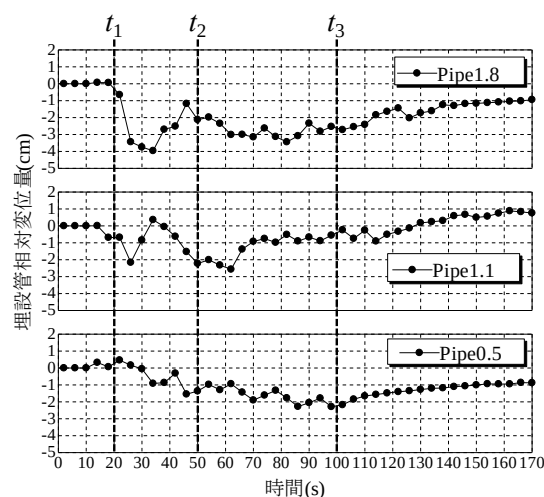


図5 模型管の相対変位量