

液状化地盤における埋設管の水平載荷実験に関する PIV 解析 PIV Analysis on Lateral Loading Test for Buried Pipe in Liquefied Soil

○小野耕平 横田木綿 澤田豊 河端俊典

Kohei Ono, Yu Yokota, Yutaka Sawada and Toshinori Kawabata

1. はじめに

埋設管路の地震被害は、埋戻し地盤の液状化によって甚大となるものの、その対策手法は現行の設計基準に明示されていない。効果的な液状化対策を講じる上で、液状化時の埋設管路挙動と周辺地盤強度の関係性を明らかにすることが必要である。本研究では、上向き浸透流によって再現した液状化地盤内において模型管の水平載荷実験およびPIV解析を実施し、液状化による地盤抵抗力の変化、および周辺地盤の変形挙動について検討した。

2. 模型実験概要

Fig. 1 に実験土槽（幅 600 mm、高さ 500 mm、奥行き 200 mm）を示す。土槽底面から上向き浸透流を与え、地盤内の過剰間隙水圧を上昇させることで、液状化状態を再現した。地盤材料には、**Table 1** に示す 6・7 混合硅砂を使用し、水中落下法により相対密度約 40%の緩詰め地盤を作製した。模型管には、飽和地盤と同程度の比重に調整したアルミニウム製管（外径 50 mm、長さ 200 mm）を用いた。

模型管を埋設後、動水勾配 i を任意の大きさまで増加させた。**Fig. 2** に、動水勾配と管心高さにおける過剰間隙水圧比の関係を示す。動水勾配の増加に伴って過剰間隙水圧が上昇しており、本手法で任意の液状化状態を再現できることがわかる。動水勾配を一定 ($i=0.0, 0.5, 1.0$) に保持した後、電動アクチュエータによって水平方向に速度 1.0 mm/s で牽引した。牽引時に管に作用する抵抗力と地盤の過剰間隙水圧について動的計測を行った。

3. 過剰間隙水圧比と抵抗力の関係

Fig. 3 に、過剰間隙水圧比と地盤反力係数の関係を示す。地盤反力係数は、水平抵抗力を水平変位量（5 mm）で除した割線勾配である。近似線から、地盤反力は過剰間隙水圧比の上昇に対して線形的に減少し、過剰間隙水圧比 1.0 で強度を概ね失うことがわかる。

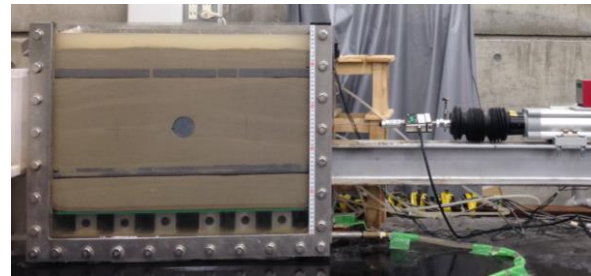


Fig. 1 実験土槽
Test container

Table 1 地盤材料特性
Properties of backfill material

土粒子密度 (g/cm^3)	2.64
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.58
最小乾燥密度 (g/cm^3)	1.23
均等係数	1.94

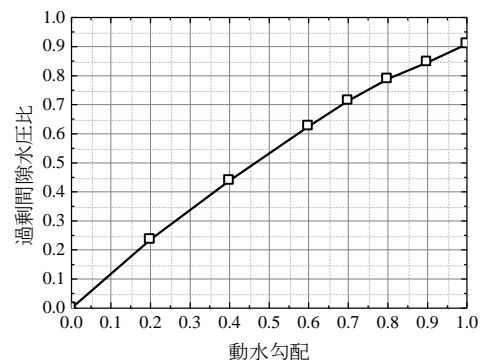


Fig. 2 動水勾配と過剰間隙水圧比の関係
Relationship between i and EPWPR

4. PIV（粒子画像流速測定法）解析

土槽前面を撮影した画像から、流体計測ソフトウェア「Flow-vec」²⁾を用いてPIV解析を実施した。PIV解析では、連続画像の濃度変化から、対象粒子の移動ベクトルを算出する。

Fig. 4 に、変位 24 mm 時における、砂粒子の移動ベクトルを示す。飽和砂では、受働側地盤の広い範囲が斜め上方向に向かって移動していることが確認できる。一方、液状化砂においては、管の変位によって押し出された砂粒子が管の上部に移動し、狭い範囲で渦状の流れを形成している。液状化によって砂粒子間のせん断抵抗力が低下した影響が、砂粒子の移動特性の変化として現われているといえる。

Fig. 5 に、変位 24 mm 時における、管側に接する断面での移動ベクトルの速度と角度の鉛直分布を示す。管の初期高さを 0 mm とし、管側から上向きを正、下向きを負で表している。速度、角度ともに、管心高さを軸にほぼ対称に分布しているものの、地盤の拘束が小さい上方に向かってやや大きく変位している。管周辺においては、動水勾配による明確な差異は確認できないものの、動水勾配が増加するに連れて、管上部地盤の変位領域が広がる傾向にあることがわかる。 $i=0.5, 1.0$ では、上部地盤のベクトル角度が 90 度を超過しており、砂粒子が管の変位と逆方向に移動していることがわかる。

5. おわりに

液状化地盤内における模型管の水平載荷実験から、地盤抵抗力は過剰間隙水圧の上昇に伴って減少することが確認された。また、PIV 解析結果から、液状化時における管の移動に対する砂粒子の移動特性を定性的に捉えることができた。

参考文献

- 1) 農林水産省（2009）：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」，321-382.
- 2) 加賀昭和，井上義雄，山口克人（1994）：気流分布の画像計測のためのパターン追跡アルゴリズム，可視化情報学会誌，Vol.14, No.53, 38-45.

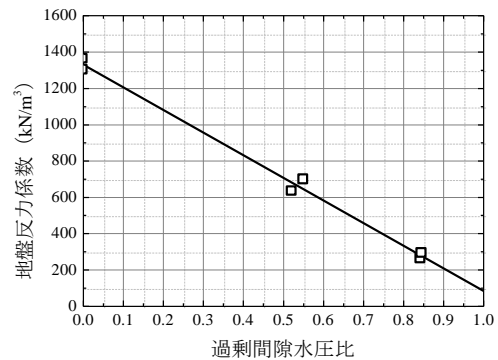
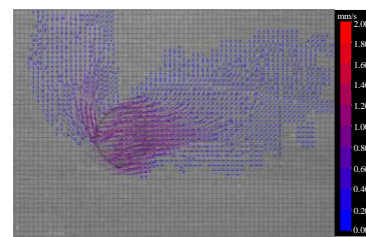
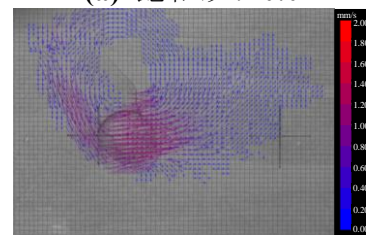


Fig. 3 地盤反力係数の変化
Transition of coefficient of subgrade reaction



(a) 飽和砂 $i=0.0$



(b) 液状化砂 $i=1.0$

Fig. 4 PIV 画像解析結果
Results of PIV analysis

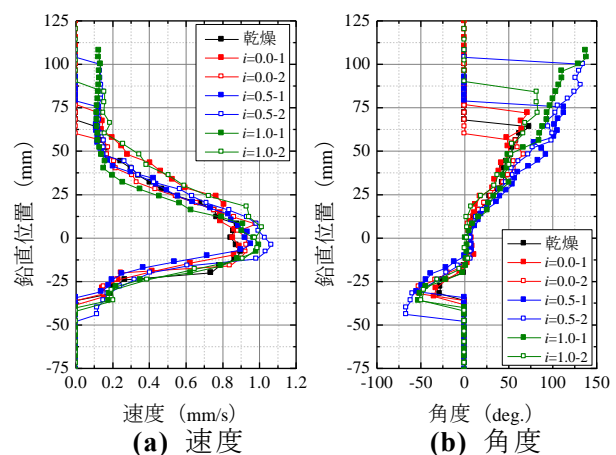


Fig. 5 移動ベクトルの鉛直分布
Distributions of displacement vector