

液状化地盤中の埋設管に作用する 過剰間隙水圧分布の測定とその評価

日本大学工学部 学生会員 ○宮崎 友輔
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

近年、大地震により埋立地や軟弱地盤において液状化による埋設管の浮上被害が問題となっている。液状化地盤中の埋設管に働く浮上力は、従来、比重が約2の泥水中で働く静水圧と過剰間隙水圧により浮上力を算出して評価すべきである。一方で既往の実験では、埋設管のごく近傍に作用する過剰間隙水圧はほとんど測定されておらず、その分布もよくわかっていない。

そこで本研究では、埋設管に作用する過剰間隙水圧を計測して、浮上に及ぼす影響を評価することを目的とする。具体的には、小型土槽を用いて、緩い飽和砂地盤中に埋設管を設置した。なお埋設管模型の表面6ヶ所に間隙水圧計を設置した。実験では異なる入力波を与えて、液状化の程度を変化させ、管に働く過剰間隙水圧を測定し、浮上力を評価した。

2. 実験方法

実験では小型の剛土槽(幅600mm×奥行600mm×深さ600mm)を用いた。加振には二次元永久磁石地震波振動台を用いた。試料は珪砂6号($\rho_s:2.618\text{g/cm}^3$, $e_{\max}:0.835$, $e_{\min}:0.512$, $D_{50}:0.265\text{mm}$)を使用し、砂層厚さは図-1に示すように500mmとし、目標相対密度は40%とした。埋設管は長さ500mm、直径100mm、肉厚1cm、質量2.032kgの亚克力製パイプを使用し、管中心部に3ヶ所、管端部に3ヶ所に間隙水圧計を埋め込むように設置した(図-2)。埋設管の土被りは200mmとした。地盤変位測定のためにガラスビーズ(直径10mm)を管軸方向中央部に34個設置し、水平間隔60mm、垂直間隔50mmとした¹⁾。地盤作製後、CO₂を注入し、その後脱気水を注入し地盤を飽和させた。なお、水位は地表面とした。埋設管の浮上量は、埋設管両端部にてワイヤー式変位計を設置して計測した。加振は管軸直交方向とし、約300galの正弦波(2Hz)を約20秒加振したケース1と約400galの正弦波(2Hz)を約20秒加振したケース2を行った。

3. 実験結果

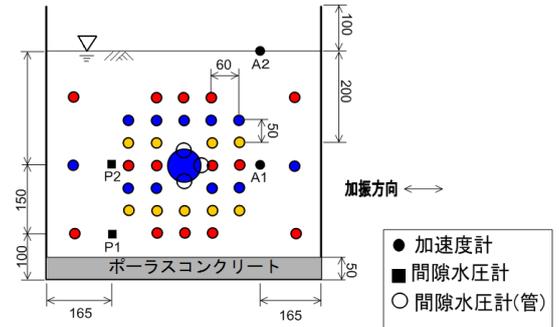


図-1 地盤モデル(単位はmm)

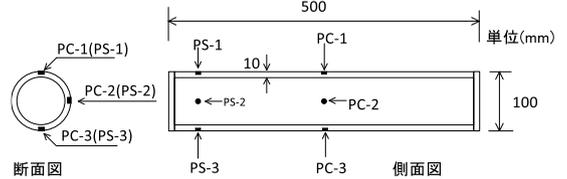


図-2 埋設管センサー配置図

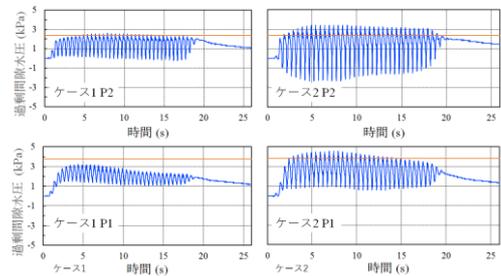


図-3 過剰間隙水圧の時刻歴

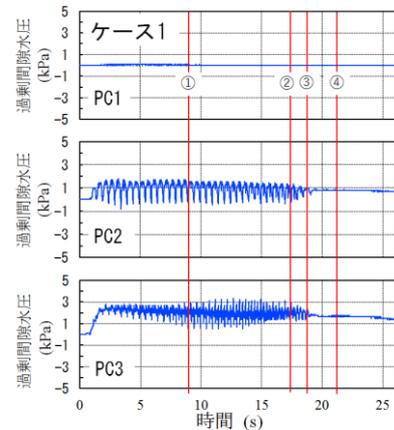


図-4 管に作用する過剰間隙水圧の時刻歴

キーワード 液状化 埋設管 過剰間隙水圧

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地, TEL 024-956-8710

ケース 1,2 の過剰間隙水圧の時刻歴を図-3 に示す。図より、ケース 1 の下部(P1)を除けば過剰間隙水圧が初期有効上載圧の値に達しているため、液状化している。また、上部の過剰間隙水圧(P2)は下部よりも大きな振幅で変動している。また、ケース 2 の過剰間隙水圧の最大値の方が大きくなった。ケース 1 の管表面で観測された過剰間隙水圧の時刻歴を図-4 に示す。図より管頂部の過剰間隙水圧は他と比べて小さく、ゼロに近いことがわかる。管側面に作用する過剰間隙水圧は、変動が大きく負圧になる場合も確認できた。管底部に作用する過剰間隙水圧が、最も大きいことがわかる。図-5 は図-4 の①～④の時刻における過剰間隙水圧の分布図である。次に、過剰間隙水圧分布より埋設管に働く浮上力を求める。浮上力算定の模式図を図-6 に示す。管に働く浮上力は、静水圧成分と過剰間隙水圧成分に大別できる。静水圧成分は管に作用する浮力であり、水深に関わらず常に一定である。過剰間隙水圧による浮上力 F_{UE} は過剰間隙水圧分布が、 P_2 の上下で非対称な楕円であると仮定して求めた面積であり、次式で求めることができる。

$$F_{UE} = (P_3 - P_1) * D * \frac{\pi}{2} \dots (1)$$

ここで P_1, P_3 は管頂部、底部の過剰間隙水圧、 D は埋設管の直径である。比較のために以下の既往の提案式²⁾で浮上力を求めた。

$$F_{UE} = \int_{-D/2}^{D/2} P_3 dD \dots (2)$$

両式で求めた埋設管の浮上力の時刻歴を図-7 に示す。図より、どちらの計算結果も液状化地盤を泥水と仮定して求めた浮上力と比べ、大きいことがわかる。今回提案する浮上力は、既往の方法と比べて小さめの評価となった。図-8 に管の浮上量と、浮上力を示す。図より、浮上力は浮上量の周期の半分で振動していることが確認できた。図-9 に、ケース 1,2 の管周辺の砂地盤の変位ベクトルを示す。管上部の砂層は上昇した管によって上方に押し上げられ、管下部に側方の砂が回り込んでいる。このことから、管の浮上に管直上の範囲の砂層が影響を与えていると考えられる。

4. まとめ

緩い砂層中に設置した、過剰間隙水圧計を埋め込んだ埋設管を用いた実験を実施して以下のことがわかった。(1)埋設管に作用する過剰間隙水圧分布は、頂部ではかなり小さくほぼ 0 に近く、底部では、最大となった。(2)静水圧及び過剰間隙水圧分布より算出した浮上力は、液状化地盤を泥水状態と仮定した浮上力よりも大きい値となった。(3)管の浮上には管直上範囲の砂層が影響を与えている。今後は、埋設管に働くすべての力を考慮して、浮き上がり安全率を評価する予定である。

5. 参考文献

- 1)平山・仙頭,液状化による埋設管の浮上に伴う管周辺砂地盤の変位に着目した模型振動台実験,平成 28 年度卒業研究審査予稿集, 2016, pp.137-138.
- 2) Siau Chen Chian&Santana Phani gopal Madabhushi, Excess Pore Pressures Around Underground Structures Following Earthquake Induced Liquefaction.International journal of Geotechnical Earthquake Engineering, 2012, 3(2), pp.25-41

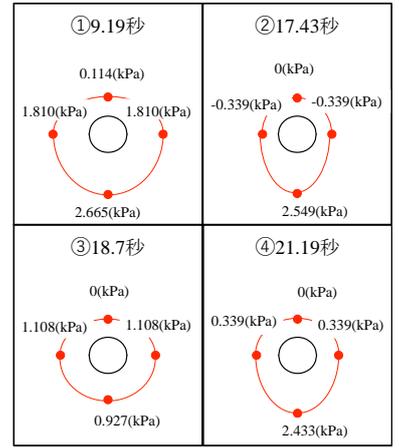


図-5 管周辺の過剰間隙水圧

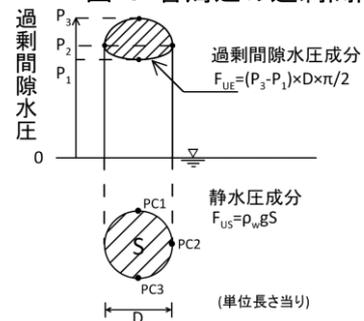


図-6 埋設管に作用する浮上力の概念図

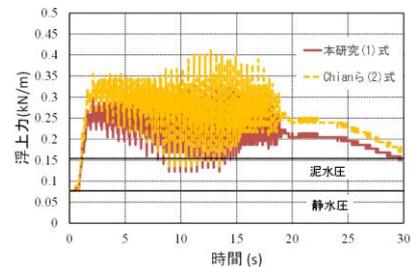


図-7 計算結果の時刻歴

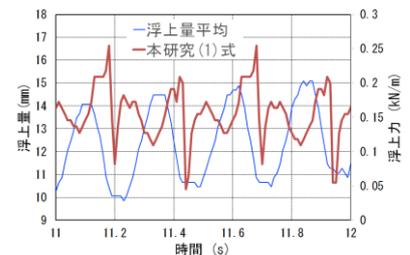


図-8 浮上量と浮上力の比較

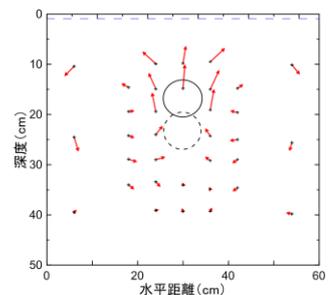


図-9 ベクトル図 ケース 2