

埋設管に作用する過剰間隙水圧を考慮した浮き上がり安全率

日本大学工学部 正会員 ○仙頭 紀明

日本大学工学部 学生会員 宮崎 友輔

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。埋設管に働く浮上力は、従来、泥水中（比重が約 2）の浮力より算出されている¹⁾。本来、浮上力は、埋設管に働く静水圧と過剰間隙水圧から評価すべきであるが、埋設管ごく近傍の過剰間隙水圧の測定事例²⁾は少ない。

そこで本研究では、重力場の振動台実験を実施して、液状化地盤中の埋設管に作用する過剰間隙水圧を計測して、浮上力を評価した。さらに埋設管に作用する力から、浮き上がり安全率を評価し、従来の方法との比較を行った。

2. 実験方法

実験では剛土槽(幅 600mm, 深さ 600mm, 奥行 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 450mm とし、目標相対密度は 40% とし空中落下法で作製した。埋設管は外径 100mm, 内径 80mm, 長さ 500mm のアクリルパイプを使用した。埋設管の質量は 2.063kg, 管の見かけの比重は約 0.53 である。管中心部および管端部においてそれぞれ管頂部, 管側面, 管底部に水圧計を埋め込んだ(図-2)。埋設管の土被りは 200mm とした。地盤変位測定は、ガラスビーズを用いて行った³⁾。地盤作製後, CO_2 と脱気水により地盤を飽和させた。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 2 箇所所で測定した。加振は管軸直交方向とし、正弦波(2Hz)を約 20 秒加振した。最大加速度は、ケース 1 が約 300gal, ケース 2 が約 400gal である。本報ではケース 1 の結果について示す。

3. 実験結果

地盤の過剰間隙水圧の時刻歴を図-3 に示す。図より、上部 (P2) の過剰間隙水圧比 (r_u) は 1.0 に達し液状化している。埋設管 (管中央部) の過剰間隙水圧の時刻歴を図-4 に示す。管底部 (PC3) の過剰間隙水圧は $r_u=1.0$ に到達しており液状化している。一方、管頂部 (PC1) ではゼロに近いことがわかる。これは管頂部ごく近傍の地盤は固体として挙動していることを示唆している。管側面 (PC2) では水圧の変動が大きく負圧になる場合もあった。

埋設管に作用する水圧 (静水圧 + 過剰間隙水圧) より、浮上力 F_B (単位長さ (1m) 当たり) を式(1)で表す。

キーワード 液状化 埋設管 過剰間隙水圧 浮き上がり 安全率

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

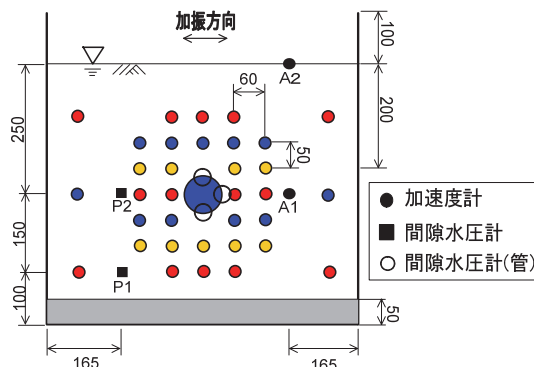


図-1 模型実験の概要

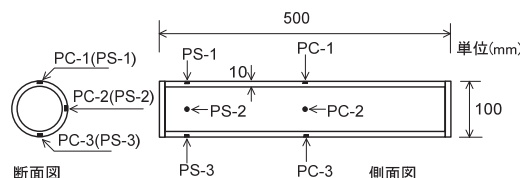


図-2 埋設管模型の概要

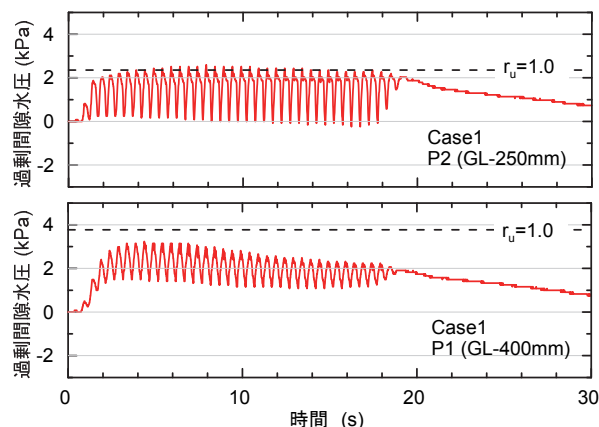


図-3 地盤の過剰間隙水圧の時刻歴

$$F_B = F_{BS} + F_{BE} = \frac{\rho_w g \pi D^2}{4} + \frac{(P_3 - P_1) \pi D}{4} \quad (1)$$

ここで F_{BS} , F_{BE} は静水圧, 過剰間隙水圧による浮上力, P_1 , P_3 は管頂部および底部の過剰間隙水圧, D は埋設管の直径である. 実験値を用いて計算した浮上力の時刻歴を図-5 に示す. 浮上力は泥水中の埋設管に働く浮力と比べ 2 倍程度大きい. これは P_1 がゼロに近いためである.

浮き上がり安全率 F_U は, 文献 2) を参考として, 図-6 に示す埋設管に作用する力 (埋設管の自重 (F_T), 有効土被り荷重 (F_{WS}), 管上部土塊側面に作用するせん断力 (F_{SP}) および浮上力 (F_B)) より式(2)で表す.

$$F_U = \frac{F_T + F_{WS} + F_{SP}}{F_B} \quad (2)$$

F_{WS} は式(3), F_{SP} は式(4)で表す.

$$F_{WS} = \gamma' \left(HD - \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (3)$$

$$F_{SP} = 2\tau_{ave} H(1 - r_u) \quad (4)$$

ここで H は地表面から管芯までの深度, γ' は土の有効単位体積重量, τ_{ave} は土塊側面の平均せん断応力である.

τ_{ave} は式(5)で表す.

$$\tau_{ave} = \frac{\gamma' H}{2} K_0 \tan \phi' \quad (5)$$

ここで, K_0 は静止土圧係数である. 実験結果を用いて計算した浮き上がり安全率の時刻歴を図-7 に示す. ここで γ' は 9.430 kN/m^3 , r_u は地盤の過剰間隙水圧 (P_2) より求めた. なお K_0 と ϕ' は 0.5 , 30° を仮定した. 安全率は周期的に 1 を切り, 最小値 (約 0.62) は現行の指針の方法¹⁾で求めた安全率 (0.26) と比べて 2 倍以上大きい値となった.

4. まとめ

埋設管に作用する過剰間隙水圧分布と浮上力および浮き上がり安全率につい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 (比) は, 管頂部ではほぼ 0 に近く, 管底部では r_u は 1 に近い値となった.
- 2) 静水圧と過剰間隙水圧分布より算出した埋設管の浮上力は, 泥水中の浮力よりも大きい値となった.
- 3) 浮上力と有効土被り荷重等を考慮した浮き上がり安全率を提案し, この方法で求めた安全率は現行の指針で求めた値と比べて 2 倍以上大きくなった.

参考文献 1) 日本水道協会: 水道施設耐震工法指針・解説 2009 年度版, I 総論, pp.78, 2009. 2) Chian, S. C. & Madabhushi, S. P. G.: Excess pore pressures around underground Structures following earthquake induced liquefaction, International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering, 3(2), pp.25-41, 2012. 3) 仙頭紀明, 齋藤和寿, 平山拓海: 液状化した地盤中の埋設管浮上メカニズムに着目した模型振動実験, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.74, No.3, pp.332-341, 2018.

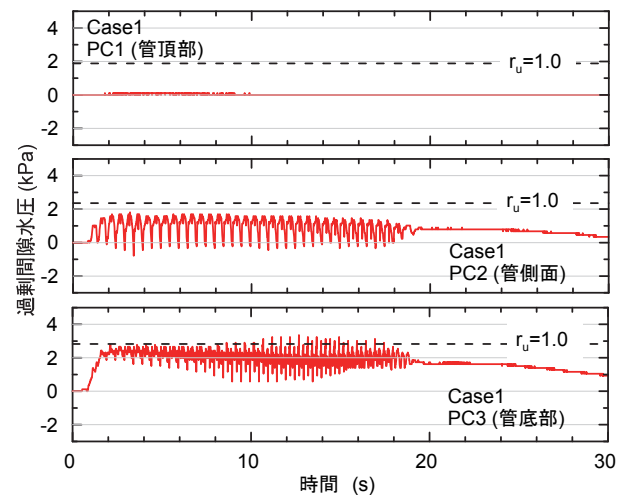


図-4 埋設管に作用する過剰間隙水圧時刻歴

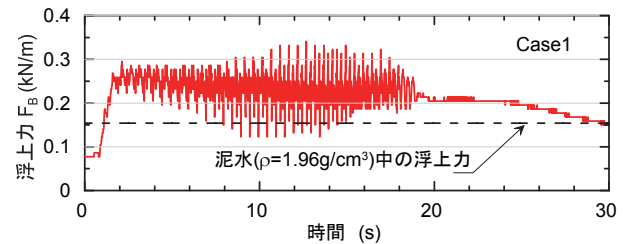


図-5 埋設管に作用する浮上力の時刻歴

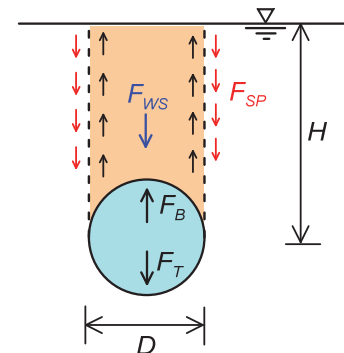


図-6 埋設管に作用する力

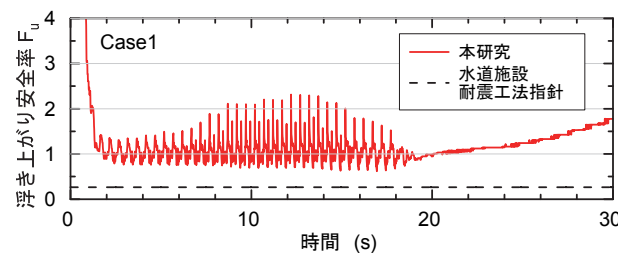


図-7 埋設管の浮き上がり安全率の時刻歴