

液状化地盤における屋外貯蔵タンクのパイルドラフト基礎の沈下性状

西松建設技術研究所 正会員 ○今村眞一郎
西松建設技術研究所 正会員 萩原敏行

西松建設土木設計部 正会員
危険物保安技術協会 正会員
東京工業大学大学院理工学研究科 正会員

平野孝行
八木高志
竹村次朗

1. はじめに

パイルドラフト基礎は荷重に対してラフトと杭とが複合して抵抗することから、合理的な基礎形式といえる。しかしながら、設計の基本となるラフトと杭の鉛直・水平支持力分担率に影響を与える要因、地震時挙動など未解明な点が多く残されている。また、タンク基礎の設計では基礎地盤の液状化を許容しないが、既設タンク基礎の場合、大地震の発生に伴って地盤が液状化し、それに伴ってスラブ底面や杭の支持力が失われ、基礎全体としての支持力機構が変化する可能性がある。本報では、パイルドラフト基礎の耐震性に関する遠心模型振動実験を実施し、基礎形式の違いによる地震時の沈下性状について検討した。

2. 実験概要

本研究では、タンク直径および高さ 7m の容量 300kl 相当のタンク規模、層厚 10m の液状化地盤を想定し、縮尺比 1/50 の 3次元モデルを用いて、遠心加速度 50g の下でスラブ基礎とパイルドラフト（以下、PR）基礎について振動実験を実施した。図-1 に、実験模型の概要を示す。模型地盤は、試料に珪砂 8 号 ($D_{50} = 0.07\text{mm}$, $e_{\max} = 1.333$, $e_{\min} = 0.703$, $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$), 間隙流体に脱気水を用いて、せん断土槽内に深さ 200mm, 相対密度 50% の飽和砂地盤を作製した。さらに飽和砂地盤表面に有効上載圧を与えるため、厚さ 10mm のジルコン砂を敷設した。模型タンク荷重は 100kPa とし、重心はタンク原型（満液時）の重心に合わせ、基礎底面から 66mm 高さとした。スラブ基礎は、剛な RC 基礎を想定し、厚さ 15mm, 直径 160mm（実換算：8m）のアルミ製基礎とした。PR 基礎は、スラブ基礎と杭基礎で構成した。図-1 に示す $\phi 8\text{mm}$ （肉厚 0.5mm）の SUS 製杭は、実物換算で杭長 7.5m, $\phi 400\text{mm}$, 曲げ剛性は PHC 杭の曲げ剛性 ($4.08 \times 10^4 \text{kN m}^2$) の 2.5 倍に相当する。杭本数を 7 本として振動方向や杭のせん断力分担比の対称性を考慮した配置とした。また、杭頭の固定条件は剛結とし、杭先端は閉塞され、ラフト底面と杭周面には砂を接着剤で貼り付け粗な条件とした。計測項目は、タンクの沈下、応答加速度、地盤内の応答加速度、間隙水圧および杭ひずみである。入力波は、水平加速度 13g, 卓越周波数 100 Hz の正弦波 20 波（加振時間 0.2 秒）とし、実規模では水平加速度 255Gal, 卓越周波数 2Hz の正弦波に相当する。

3. 実験結果および考察

図-2 は、タンク周辺地盤 P2 およびタンク基礎直下 P6 における過剰間隙水圧比の時刻歴を実物換算で比較したものである。タンク直下での過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_{v0}$) の算定では、2つの基礎の荷重条件を合わせるため、過剰間隙水圧 Δu をタンク荷重 + 有効土被り圧で除して求めた。周辺地盤の P2 では、いずれも加振開始後に 1.0 に達し、液状化していると判断できる。また、2ケースともに周辺地盤では深さ方向に対して一様に液状化し

キーワード タンク, 液状化, パイルドラフト, 沈下, 遠心模型実験

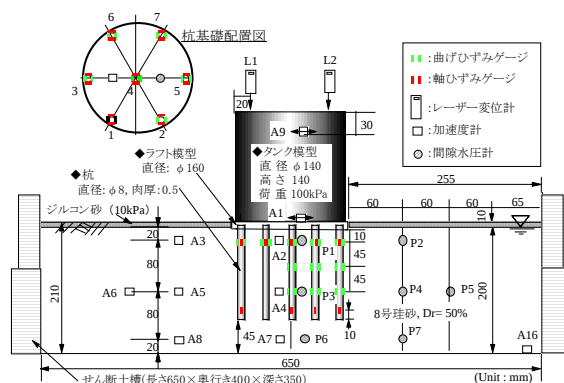


図-1 実験模型概要図（パイルドラフト基礎）

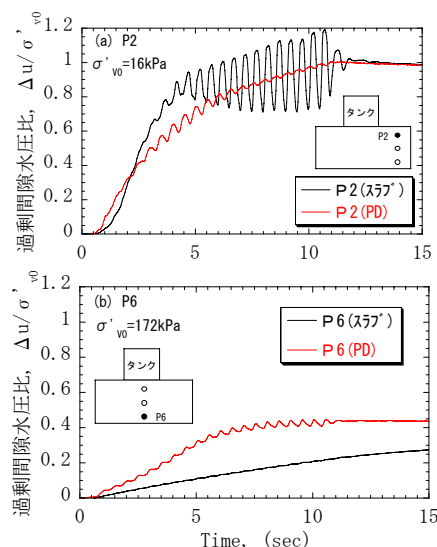


図-2 過剰間隙水圧比の時刻歴

ていた。一方、タンク基礎直下 P6 に関しては、スラブ基礎では加振終了時で過剰間隙水圧比が約 0.3, PR 基礎では最大で 0.43 を示した。周辺地盤に比べ、タンク直下ではタンク荷重による拘束圧により、過剰間隙水圧の上昇が抑制されていることが考えられる。また、基礎形式の違いによっても過剰間隙水圧の上昇勾配や最大過剰間隙水圧比に明確な違いを確認できる。スラブ基礎ではタンク直下地盤の変形を抑制するのに対し、PR 基礎では 7 本の杭による支持効果によって、タンク直下地盤ではラフトによる直接的な拘束圧や変形抑制効果が減少するため、スラブ基礎と比較して過剰間隙水圧比が大きくなることが考えられる。また、液状化による杭の支持力の低下に伴うラフト底面反力の増加もこの原因といえる。

図-3 は、測点 L1 におけるスラブ基礎と PR 基礎のタンク沈下の時刻歴である。P2 の間隙水圧の挙動(図-2)と同様、スラブ基礎の沈下は振幅を伴い、タンクのロッキングが生じていることが分かり、また沈下曲線は下に凸の形状を示している。

一方、PR 基礎の沈下は、振幅は小さく、沈下曲線はやや上に凸形状となっている。PR 基礎のタンク反力はスラブ基礎より小さいため振動初期では沈下はやや小さくなるが、後半部では前述の通り、杭支持力の低下とラフト底面反力の増加による沈下の影響が現れる。また、加振中での基礎の振幅現象の違いは基礎の応答にも現れており、スラブ基礎に比べて PR 基礎底面の応答加速度(A1)が低減されている(図-4)。PR 基礎の平均残留沈下量(250mm)は、スラブ基礎の平均沈下量(210mm)よりも約 20% 大きい。その沈下量には有意味な差が認められなかった。

図-5 に、筆者らが過去に実施した注入固化工法の検証実験¹⁾の概要図を示す。この実験は本実験と比べ、基礎剛性が低い、タンク重心高さが低い、基礎底面にジルコン砂を敷設していない、基礎底面の直径(140mm)がやや小さい等の差はある。

図-6 はタンク直径で正規化した最大沈下量($S_{\max}/D$)を本実験と上記検証実験の未改良地盤の結果を合わせて比較したものである。ゴムメンブレンや SUS 製薄板でモデル化した柔な基礎形式では、剛なスラブ基礎や PR 基礎よりも沈下量は大きくなった。図-7 は、正規化した最大不同沈下量($S_{d(\max)}/D$)を比較したものである。検証実験では柔な基礎ほど不同沈下量は大きくなったが、スラブ基礎の不同沈下量は最も柔な基礎であるゴムメンブレンと同程度であった。一方、PR 基礎の不同沈下量は約 $1/200D$ で全ての基礎の中で最も小さかった。また、実基礎の杭本数を考慮すれば、不同沈下をより抑制できるものと考えられる。

4. おわりに

パイルドラフト基礎の最大沈下量は、スラブ基礎の最大沈下量をやや上回ったが、これらの沈下量には有意味な差が認められず、スラブ基礎に比べて不同沈下を抑制できることが確認された。

【参考文献】1) 今村眞一郎, 平野孝行, 萩原敏行, 高橋章浩, 竹村次朗: 注入固化工法を用いた既設タンク基礎地盤の液状化対策効果に関する遠心模型実験, 土木学会論文集, No. 764 号/Ⅲ-67, pp. 101-120, 2004.

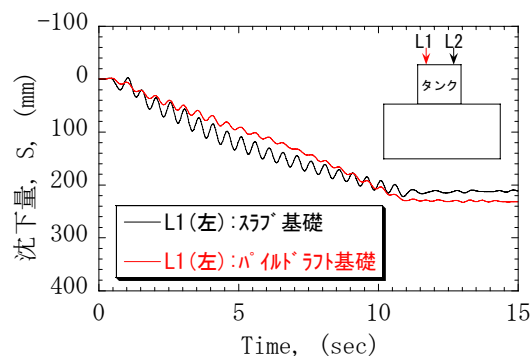


図-3 タンク沈下の時刻歴(実換算)

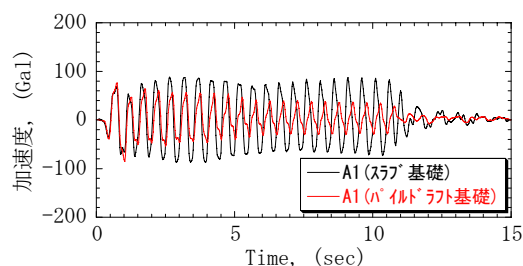


図-4 タンク基礎の応答加速度

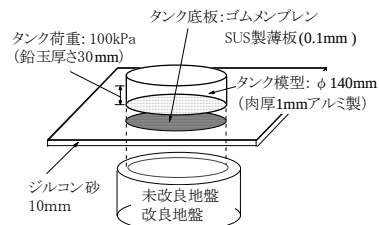


図-5 注入固化工法の検証実験¹⁾

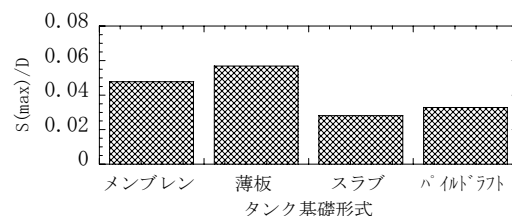


図-6 正規化した最大沈下量の比較

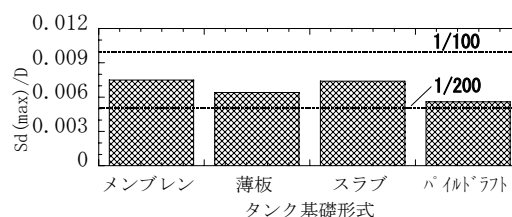


図-7 正規化した最大不同沈下量の比較