

液状化地盤におけるパイルドラフト基礎を有する石油タンクの地震時沈下性状

西松建設技術研究所 正会員 ○今村 眞一郎
 危険物保安技術協会 正会員 八木 高志

西松建設土木設計部 正会員 平野 孝行
 東京工業大学大学院 正会員 竹村 次朗

1. はじめに

本報では、非液状化層を含む液状化地盤でのパイルドラフト基礎を有する石油タンクの地震時挙動の把握を目的とした遠心模型実験を行い、基礎形式、地盤構成の違いによるタンク基礎の支持力・沈下性状を比較した。

2. 実験方法

実験は、直径と高さがそれぞれ 7m のタンクを想定した 1/50 縮尺の 3 次元パイルドラフト(PR)基礎モデルによる遠心模型振動実験を遠心力場 50g で行った (図-1)。模型タンク荷重は 100kPa とし、PR 基礎はスラブ基礎と 7 本の杭基礎で構成した。模型地盤は、珪砂 8 号を用いて作製した相対密度 50% の液状化地盤と豊浦砂を用いて作製した相対密度 70% の非液状化地盤で構成された 2 層地盤である。実験は液状化深度の違いがパイルドラフト基礎の地震時挙動に及ぼす影響を把握するため、図-1 に示す上部に非液状化層を有する C1 と下部に非液状化層を有する C2 の 2 ケースを実施した。

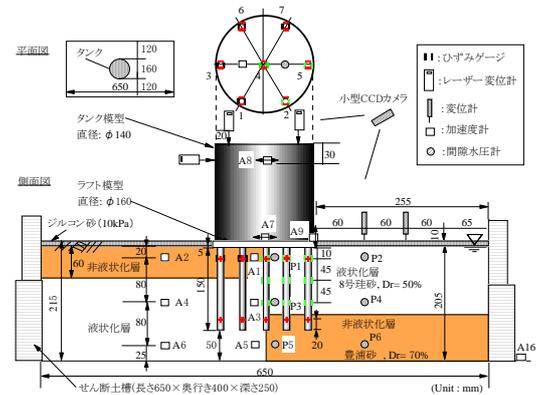


図-1 実験概要図 (半断面図)

表-1 実験ケース (実物換算)

Case	地盤構成	入力加速度	初期荷重分担率
SB	層厚 10.5m 全液状化層	255 Gal	ラフト 100
PR1(1)		255 Gal	ラフト:杭=54:46
PR2(1,2)		255, 400 Gal	ラフト:杭=49:51
PL(1,2)		255, 400 Gal	杭 100
C1(1,2)	上層 3m 非液層	255, 400 Gal	ラフト:杭=44:56
C2(1,2)	下層 4.3m 非液層	255, 400 Gal	ラフト:杭=24:76

加振は水平加速度 255Gal, 400Gal の 2 ステップ加振とし、周波数 2Hz の正弦波 20 波を入力した。表-1 には既往データとして、スラブ基礎(SB), PR 基礎(PR1, PR2), 先端支持杭基礎(PL)も示した。模型仕様や既往の実験結果については既報¹⁾を参照されたい。以下の実験結果は全て実物換算した。

3. 実験結果および考察

図-2 は各加振レベルでのタンク直下 P1, P5 での過剰間隙水圧比の時刻歴を基礎形式別に比較した。タンク直下での過剰間隙水圧比は、過剰間隙水圧を SB ではタンク荷重による地中応力+有効土被り圧, PL は有効土被り圧, PR2, C1, C2 ではラフト初期荷重とその変動荷重を考慮した地中応力と有効土被り圧との和で除して求めた。ここでは図示していないが、周辺地盤の液状化層ではいずれのケースも加振開始後に過剰間隙水圧比はほぼ 1.0 に達し、深さ方向に一様に液状化していた¹⁾。図から、255Gal 加振、タンク基礎直下 P1 では、SB では最大過剰間隙水圧比が 0.1, PR2 では 0.12, C1 で 0.34, C2 で 0.22 を示したのに対し、P5 では SB で 0.43, PR2 では 0.47, C1 で 0.76, C2 で 0.84 を示した。PR 基礎(PR2, C1, C2)の直下地盤では SB 基礎に比べてスラブによる直接的な拘束圧や変形抑制効果が減少するため、過剰間隙水圧比が大きくなると考えられる。一方、C1, C2 の非液状化層で

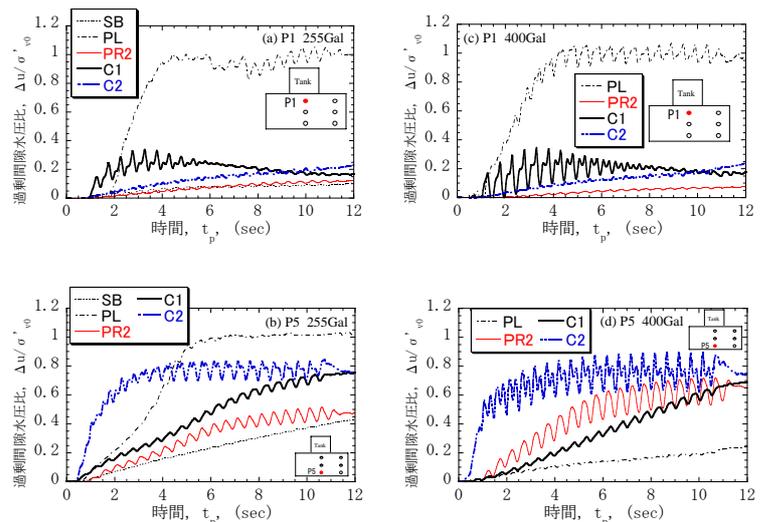


図-2 タンク直下地盤の過剰間隙水圧挙動の比較

キーワード 遠心模型実験, 液状化, パイルドラフト

は、加振レベルに応じたサイクリックモビリティによる著しい水圧変動を生じ、過剰間隙水圧比も比較的高い値を示した。

特に C2 の場合、土槽底面(非排水境界)に面していることから間隙水圧が蓄積されやすく、上下層の剛性の差による大きなせん断ひずみが生じたものと推察される。PR 基礎(PR2, C1, C2), 400Gal 加振では 255Gal 加振と比べて過剰間隙水圧比は PR2 を除き同程度かやや小さな値となった。

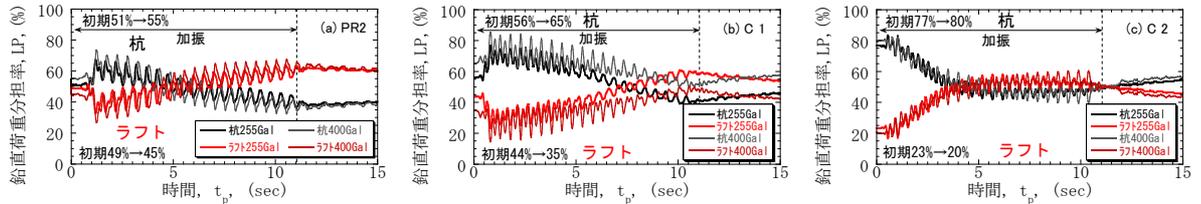


図-3 鉛直荷重分担率の挙動

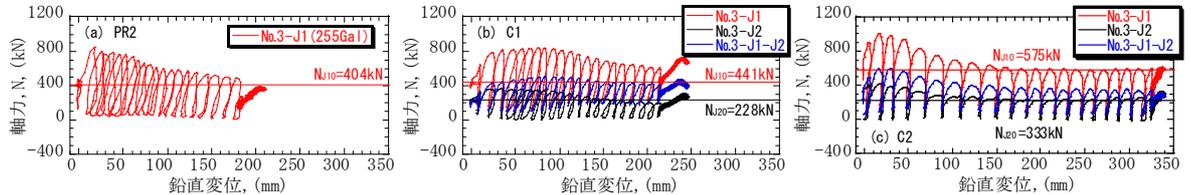


図-4 杭鉛直変位と軸力の関係

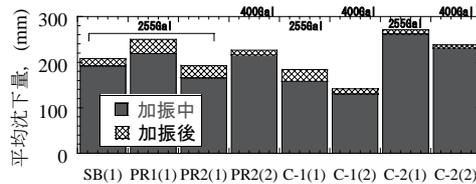


図-5 タンク平均沈下量の比較

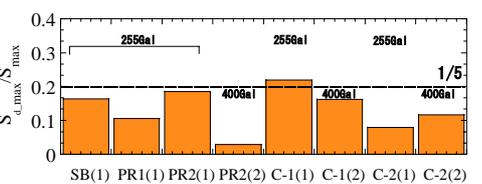


図-6 最大沈下量に対する不等沈下量

図-3 に PR2, C1, C2 の鉛直荷重分担率の時刻歴を示し、図中には加振毎の初期荷重分担率を示した。加振直後の杭の負担率はいずれも一時的に増大するが、PR2, C1 では P5 付近の地盤剛性の軟化に伴って杭の支持力が徐々に減少し、ラフトの荷重負担率は加振終了まで増大している。これらの荷重負担率の挙動は過剰間隙水圧 P5 の挙動とよく対応している。特に PR2, C1 の P5 では地盤構成や加振レベルの違いによる過剰間隙水圧量にも違いが生じており、この違いが各加振直後の杭の荷重負担率の増加率やその後の減少率にも影響している。

図-4 には、PR2, C1, C2, 255Gal での No.3 杭頭の鉛直変位と軸力(杭頭 J1, 杭先端 J2, 摩擦力 J1-J2)の関係に初期軸力 (J10, J20)を示した。但し、PR2, J2 は計測不良のため図示していない。C1, J1 では加振中は常に初期軸力(J10)を上回る圧縮力が作用しているが、C2 よりも大きな摩擦力 J1-J2 が発生している。C1 と同じ傾向を示す PR2 でも摩擦力が発生していると推察されるが、圧縮抵抗の割合は C1 の方が大きい。この摩擦力の発生は、PR2, C1 での基礎直下地盤が完全液状化に至っていないことを示唆するもので、タンク基礎のロッキング現象によって沈下が抑制されたものと考えられる。また、杭の初期荷重分担率が約 80%と高い C2, J1 では、J1 が初期軸力を上回っているのは過剰間隙水圧が一定値を示す 4 秒(沈下 100mm)付近迄である。その後は摩擦力や支持力も一定であるため、タンクの繰り返し荷重によって沈下が増加したものと考えられる。

図-5 はタンクの平均沈下量を加振終了直後(15 秒)と加振後(750 秒)に分けて基礎別に比較して示した。SB 基礎に比べてタンク基礎直下地盤での過剰間隙水圧比が大きい PR 基礎(PR1, PR2 と C1)では、残留沈下量がやや大きい傾向が認められる。また、沈下量の大小関係は J1 での圧縮抵抗の規模によく対応している(図-4)。

図-6 は最大沈下量に対する不等沈下量比である。255Gal では全ケースで C1 が最も大きく C2 で最も小さい。400Gal, C2 の平均沈下量は最も大きい、不等沈下量は C1 よりも抑制されている。これは非排水条件下で軟化した下部非液状化層への杭の食い込みが進み、その影響でタンクの不等沈下が抑制されたものと考えられる。

4. おわりに

パイルドラフト基礎を有するタンク基礎の沈下・支持力性状は、非液状化層の位置の違いにより異なる。特に下層に中密な非液状化地盤を有する地盤で、土槽底面を非排水条件した場合、完全な非液状化層とならないため、初期荷重分担率が杭の支持力に与える影響についてさらに検討が必要である。

【参考文献】1) 今村 眞一郎, 平野 孝行, 八木 高志, 竹村 次朗: 液状化地盤における屋外貯蔵タンクへのパイルドラフト基礎の適用性について, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, pp.3224-3231, 2010.