

液状化地盤へのパイルドラフト基礎の適用性に関する一考察

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

筆者らは、非液状化層を含む層厚約10mの液状化地盤でのパイルドラフト基礎(以下、PR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て遠心模型実験を行っている(例えば¹⁾。既報ではPR基礎の場合、基礎直下地盤の液状化を許容しながらも、基礎の回転剛性の観点よりスラブ基礎(以下、SB基礎)に比べて優位性が確認された。本報では、液状化地盤でのPR基礎を有する石油タンクの地震時挙動とそのPR基礎の適用性について考察を述べる。

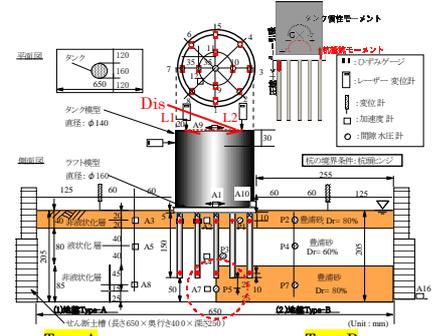


図-1 実験概要図 (C3, C4 半断面図)

2. 実験概要

実験は、直径と高さがそれぞれ7m(スラブ直径8m)のタンクを想定した1/50縮尺の3次元PR基礎モデルを用い遠心力場50gで行った(図-1)。模型タンク荷重は70kPa、PR基礎はスラブと12本の杭(ピン結合)で構成した。模型地盤は豊浦砂を用い、相対密度60%の液状化地盤と相対密度80%

Casec	地盤 Type	入力波：臨海波 上：計算秒数, 下：PL値		初期荷重分担率
		12sec	120sec	
C1:SB基礎 C3:PR基礎	Type-A 上層 2m 非液状化層 下層 8.3m 液状化層	6.4	32.7	SB: 7/100 PR基礎: 7/7杭=36:64
		12sec	120sec	
C2:SB基礎 C4:PR基礎	Type-B 上層 2m 非液状化層 中層 4m 液状化層 下層 4.3m 非液状化層	6.3	28.9	SB: 7/100 PR基礎: 7/7杭=30:70
		12sec	120sec	

の非液状化地盤を作製して、2種類の地盤(図-1左: Type-A, 右: Type-B)を構成した。実験は基礎形式(SB, PR基礎)や液状化層厚、深度の違いによる地震時挙動を把握するため、図-1と表-1に示すように上部にのみ非液状化層を有するC1, C2と上下に非液状化層を有するC3, C4の4ケースを実施した。

入力地震波は、図-2に示す南関東地震を想定して作成された模擬地震波(RINKAI92h)²⁾を最大加速度320galに設定した波形とした。模型仕様、間隙流体、計測及びPL値の算定手順の詳細等は既報¹⁾を参照されたい。なお、実験結果は実物換算とした。

3. 実験結果および考察

1) 過剰間隙水圧比($\Delta u/\sigma'_{v0}$)とPL閾値

図-3に、4ケースのタンク直下P5(赤枠線)での $\Delta u/\sigma'_{v0}$ の時刻歴図に赤破線で閾値¹⁾を示す。既報¹⁾でタンク基礎の平均沈下量には基礎形式の違いによる明確な差が認められなかったため液状化過程に着目し、図-4に示す様に、臨海波と地盤物性に基づき、PL値の時刻歴を算定した。図-5,6には、4ケースの平均・不等沈下量の時刻歴比較図を各々

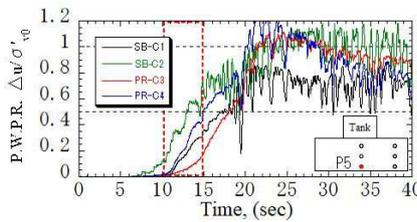


図-3 P5での過剰間隙水圧の比較

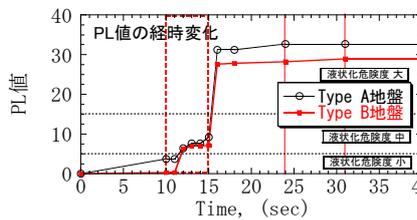


図-4 PL値の時刻歴(0~40秒)

図-2 入力地震波(臨海波120秒)

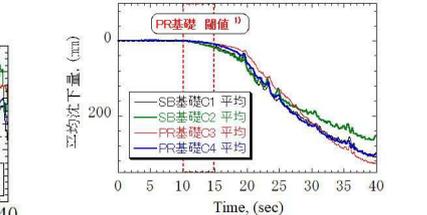


図-5 平均沈下量の時刻歴比較

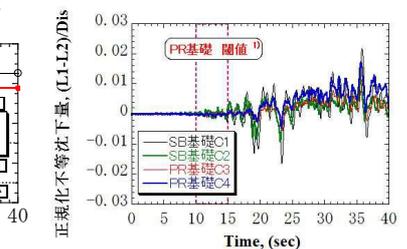


図-6 不等沈下量の時刻歴比較

示した。図-3から、 $\Delta u/\sigma'_{v0}$ がC2, C4, C1, C3の順で0.5を超え、この直後にPL値も急増している。相対密度 D_r が大きい程、過剰間隙水圧 Δu の上昇速度が速い原因としては、層境界で大きな加速度変化(せん断ひずみ)が生じた影響が考えられる。周知のように、室内試験³⁾からも概ね0.5以上の $\Delta u/\sigma'_{v0}$ が生じる場合には地盤軟化が生じ変形が大きくなると言われている事からも、地盤の軟化状態直後に加振による不等沈下発生(図-6)も概ね

キーワード 遠心模型実験, 液状化, パイルドラフト
 連絡先 〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4054 西松建設愛川技術研究所 TEL:046-285-7101, FAX:046-285-7104

説明できる。

2) スペクトル変化

基礎地盤の液状化に伴うタンクの応答特性を把握の為、各ケースを対象に2点の加速度(A1,A9)から計算したタンク重心における加速度応答よりスペクトルを求め、時刻別に130秒迄の結果を図-7に示す。SB基礎 C1, C2, PR基礎 C3, C4共に、基礎地盤が液状化する20secを境として、いずれのケースも長周期側にシフトする様子が窺い知れる。地盤種別、基礎形式別にそれぞれ明確な差が認められ、加振初期では基礎別に周波数がSB基礎で4.69(Type-A), 5.09Hz(Type-B), PR基礎で6.05Hz(T-A), 6.25Hz(T-B)であり、これが基礎地盤の液状化に伴い、50secでSB基礎:1.66Hz(T-A), 2.92Hz(T-B), PR基礎:2.95Hz(T-A), 2.82Hz(T-B)で卓越していた。また、両基礎、地盤Typeの比較より、例えば、地盤Type Bでは、PR基礎で6.25Hz付近の4つのピークから1つのピークに減少するのに対し、SB基礎ではピークが増大する傾向と相反する傾向が認められ、現象は複雑である。

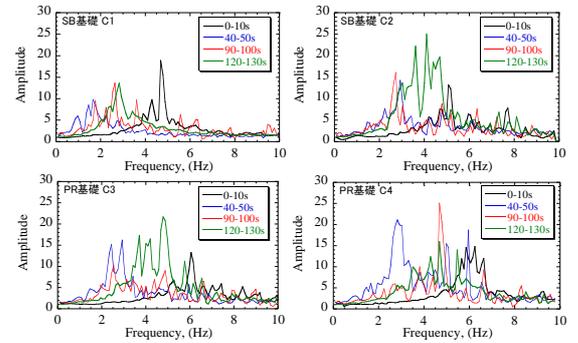


図-7 タンク基礎のスペクトル

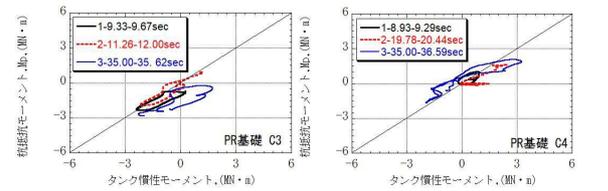


図-8 タンク慣性モーメントと杭抵抗モーメント

3) タンク慣性モーメントと抵抗モーメント

PR基礎形式タンクでは、初期軸力分布をはじめ、地盤剛性や地盤構成の違いにより、基礎杭の抵抗特性が複雑に変化する。杭の軸力による抵抗モーメント M_p は各杭の軸力とタンク中心から杭芯までの距離との積、(式1)で求める。なお、杭は圧縮軸力を正とする。

$$M_p = \sum N \cdot D_c \text{------(式1)}$$

ここに、 M_p : 杭抵抗モーメント(MN m), N : 軸力(MN), D_c : ラフト中心から杭心迄の距離(m)である。

図-1に荷重定義を示す。図-8には、PR基礎 C3, C4のタンクの慣性モーメントと初期軸力をゼロキャンセルして求めた杭抵抗モーメント(M_p)との関係について3つの代表的な履歴ループを時間別に示した。図示はしていないがC3, C4のタンクの応答加速度はほぼ同じであり、図に示す履歴ループはいずれも第2,第3ループでS字形状を示した。このS字(黒→赤線)になる遷移時間は地盤Type-Bに比べ、Type-Aの方が約10秒早く、各々加振初期では紡錘形状を示した直後にS字形状に遷移した事を確認した。特にC4では35-36秒付近で基礎に大きな回転が生じ、図-8に示す第3ループの引張り側でもS字が認められている。図示していないが36秒以降では、C3, C4ではある一定以上のモーメント荷重を受けると、杭の抵抗モーメントはC3では引張側で、C4では圧縮側で頭打ち(青線)する傾向を示した。これはType-Bの方が下層地盤の剛性を含め、杭の抵抗が大きいことを示唆するものであり、非液状化層への杭の根入れ効果と言える。このような、図-5で見られたタンク沈下が急増する時間はSB基礎の方がPR基礎よりも早い、その後PR基礎の沈下速度が大きくなり、杭の沈下抑制効果がなくなる挙動と関係付けられる。これはむしろ、PR基礎としてではなく、杭基礎としての支持力特性が反映された結果である可能性があり、液状化時のPR基礎の場合、杭・ラフト荷重が地盤構成等によって複雑に変化し、そのタンクの動的挙動、さらには沈下挙動に与える影響も複雑に変化する。そのため、今回のように杭先端支持地盤が相対的に密であっても、その効果は限定的となることがある。

4. まとめ

本実験の結果、液状化程度(PL値)が小さなうちは、パイルドラフト基礎の沈下抑制効果が期待できるが、液状化程度が大きくなると杭の効果が消滅し、スラブ基礎に比べると相対的に大きな沈下が生じる可能性があること、また、杭先端部分の密な砂地盤の効果は限定的となる場合があることを確認した。

【参考文献】1) 今村ら：PL値の変化に伴うパイルドラフト基礎の地震時挙動，土木学会第73回年次学術講演会，pp.469-470，2018. 2) (財)日本建築防災協会：臨海部構造安全委員会：臨海部における大規模建築物群の総合的な構造安全に関する調査・検討報告書総集編，1992. 3) Iai, S. & Koizumi, K: Estimation of Earthquake induced Excess Pore Water Pressure for Gravel Drains, 第7回日本地震工学シンポジウム, The University of Tokyo, pp.679-684, 1986.