

PL 値の変化に伴うパイルドラフト基礎の地震時挙動

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を有する石油タンクの基礎形式、地盤構成の違いによる地震時挙動の把握を目的とした遠心模型実験を行った。本報では入力地震波の入りに伴う互層地盤のPL値の変化に伴う地震時挙動に関して考察を述べる。

2. 実験概要

(1)実験方法 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次元パイルドラフト(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%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。なお、間隙流体には遠心模型の相似則により水の1/50の透水係数となる様に調整した粘性流体を用いた。実験は基礎形式(SB, PR基礎)や液状化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, C3と上下に非液状化層を有するC2, 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)¹⁾を最大加速度レベル320galに設定した波形とした。模型仕様、計測の詳細等は既報²⁾を参照されたい。以下の実験結果は全て実物換算で示している。

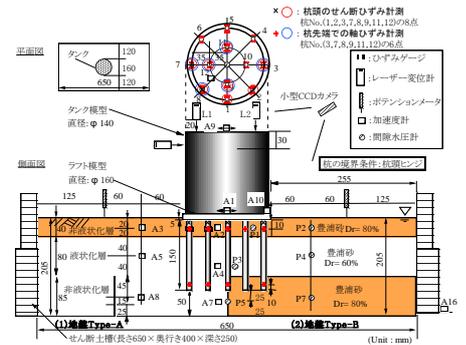


図-1 実験概要図(半断面図)

表-1 実験ケース(実物換算)

Case	地盤構成 初期条件	入力波:臨海波 上:計算秒数,下:PL値	初期荷重 分担率
C1:SB基礎 C3:PR基礎	Type-A	12sec 120sec	SB:7/100 PR基礎: 7/1:杭=36:64
	上層2m非液状化層 下層8.3m液状化層	6.4 32.7	
C2:SB基礎 C4:PR基礎	Type-B	12sec 120sec	SB:7/100 PR基礎: 7/1:杭=30:70
	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	

図-1左: Type-A, 右: Type-B)を構成した。なお、間隙流体には遠心模型の相似則により水の1/50の透水係数となる様に調整した粘性流体を用いた。実験は基礎形式(SB, PR基礎)や液状化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, C3と上下に非液状化層を有するC2, 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)¹⁾を最大加速度レベル320galに設定した波形とした。模型仕様、計測の詳細等は既報²⁾を参照されたい。以下の実験結果は全て実物換算で示している。

(2) 臨海波加振に伴うPL値の計算手順

- ① 1次元全応力解析(SHAKE)により地震動継続時間を12秒と120秒で繰り返しせん断応力比Lを求め、道示・同解説³⁾により動的せん断強度比Rを求め、液状化に対する安全率FL(=R/L)を算出した。
- ② 地盤 Type-A, Bについて、PL値を算定した。

3. 実験結果および考察

図-3に、タンク平均沈下量を加振終了直後(120秒)と加振後(120~1,000秒)に分けてケース別に比較して示した。PL値が30を示す地盤条件での平均沈下量に関しては基礎形式の違いによる明確な差が認められなかった。そこで液状化過程に着目した分析を試みた。

図-4に、C1, C3のラフト回転角と慣性力の関係を示す。回転角はタンク右側の鉛直変位S2から左側の鉛直変位S1を引いた差分(S2-S1)と測点間の距離Lから求められる角度θとして(式1)で定義し、時計まわりを正とした。履歴曲線を観察すると、SB基礎の履歴曲線が紡錘形状を示すのに対し、PR基礎では慣性力に対するラフト回転

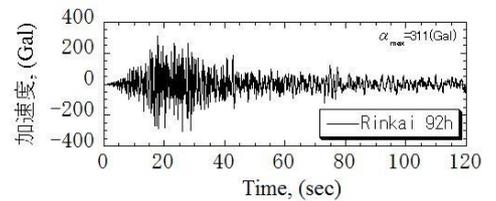


図-2 入力地震波:臨海波(加振時間120秒)

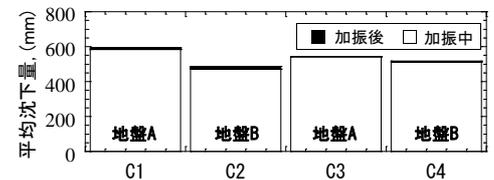
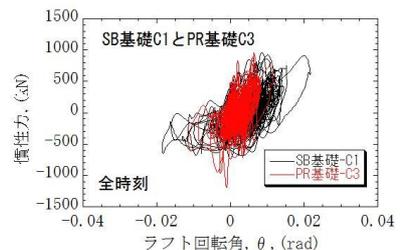


図-3 タンク平均沈下量の比較 (PL値=30)



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

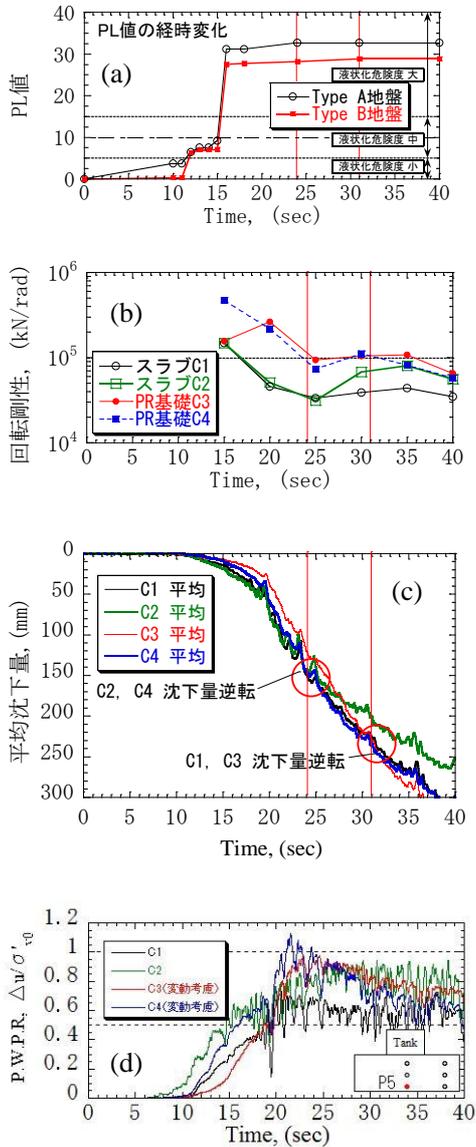


図-5 PL 値、平均沈下量、回転剛性、過剰間隙水圧の時刻歴 (0~40 秒)

や基礎形式の違いによって平均沈下量や不等沈下量が異なることが確認され (図-6)、PL 値が閾値(10)前までなら、不等沈下も抑えられるが、地盤全体が液状化するような大きな PL 値では、PR 基礎の効果はあまり期待できないということが確認できる。特に PR 基礎、Type-A の場合、基礎直下地盤の液状化を許容しながらも杭の支持力と基礎の回転剛性が保持される観点からスラブ基礎に対する優位性が確認できる。回転剛性がある程度保持される PL 値 10(臨海波 10~15 秒)迄の範囲であれば、SB 基礎に対し平均沈下量や不等沈下量の抑制効果を有する可能性を示唆している。

4. おわりに

- 1) 液状化過程においては、地盤構成や基礎形式の違いにより平均沈下量や不等沈下量が異なる。地盤全体が液状化する様な大きな PL 値では、PR 基礎の効果はあまり期待できないが、PR 基礎、Type-A 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からも、SB 基礎に比べて優位性が確認された。
- 2) PR 基礎は、加振開始後、回転剛性がある程度保持される PL 値 10 (臨海波 10~15 秒) までの範囲までであれば、SB 基礎に対して平均沈下量や不等沈下量の抑制効果が認められた。

【参考文献】 1) (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。 2) 今村ら：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、土木学会第66回年次学術講演会、pp. 469-470、2011。 3) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編)、2012。

角の頭打ち現象(逆 S 字形状)が認められる。

$$\theta = \arctan(|S2 - S1|/L) \text{ (rad)} \text{--- (式 1)}$$

ここに、S1, S2 : 鉛直変位、
L : 測点距離

次に、図-5 では PL 値、回転剛性、タンクの平均沈下量およびタンク基礎直下 P5 での過剰間隙水圧比の時刻歴を比較した。図-4 の履歴曲線から算定した割線勾配を回転剛性と定義して時刻歴で整理したものが図-5(b)である。図-5(d)の過剰間隙水圧比は、

スラブ基礎 C1、C2 に関しては過剰間隙水圧を“(各計測位置での有効土被り圧に Boussinesq の弾性理論により求めたタンク荷重 70kPa の伝

播応力を加えた初期有効鉛直応力)”で除した。また、PR 基礎 C3、C4 に関しては、“(加振中のラフト基礎の荷重変動圧に基づいて求めた初期有効鉛直応力)”で除して求めた。回転剛性は加振開始後、P5 での過剰間隙水圧の上昇と共に減少した後、ほぼ一定値を示すが、SB 基礎に比べ PR 基礎の回転剛性が若干上回っている。回転剛性の変化時刻は、PR 基礎と SB 基礎の沈下量が逆転する時刻と良好な対応が認められる。さらに、加振開始後 PL 値 6.0~6.5, 7~9 及び 28~32 について、平均沈下量、不等沈下量を図-6 に示す。また液状化過程に着目して分析するために臨海波の継続時間を刻々と変化させて算定した PL 値とタンク平均沈下量の関係を図-7 に示す。地盤構成

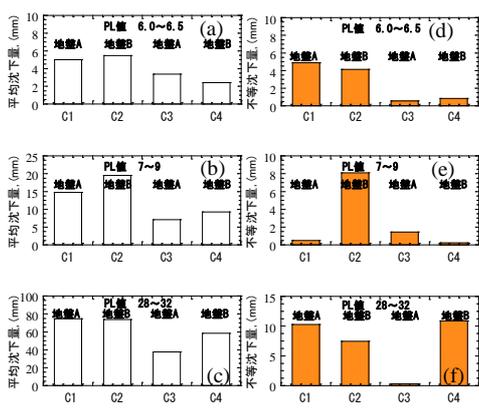


図-6 PL 値の変化に伴う各沈下量の変化

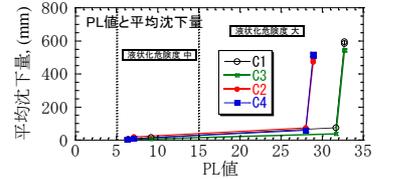


図-7 PL 値と平均沈下量の関係