

液状化地盤上の地上式タンクの変形性能照査方法に関する一検討

大成建設 正会員 ○小松本奈央美  
 大成建設 正会員 高木 宏彰  
 大成建設 正会員 立石 章

1. はじめに

杭基礎全体系の安定性評価として、杭基礎の応答変位と降伏変位・終局変位の関係による評価<sup>1)</sup>がある。通常プッシュオーバーアナリシスにより変形性能を照査するが、液状化地盤のように、過剰間隙水圧が上昇して、時々刻々と地盤剛性が大きく低下するような非定常性の強い地盤上の構造物については、これまでのプッシュオーバーアナリシスによる評価法は適用できず、現状では杭の曲率塑性率で評価せざるを得ない。

そこで、本報文では、LNG タンクを対象とし、新たな液状化地盤上の杭基礎の変形性能照査方法について検討したので報告する。

2. 検討モデル

図1に、検討モデルを示す。18万kLのLNGタンクを対象とし、杭は上杭SC杭(φ=600, SKK490, 鋼管肉厚t=14mm, 杭長4.0m)、下杭はPHC杭A種(φ=600, 杭長14.0m)で構成されている。地盤条件は、上から埋戻土によるBs層, Bc層, 洪積砂質土Ds層で構成されており、液状化層であるBs層についてはタンク直下をSCPで改良する。なお、一般的にSCP改良仕様は、L1地震時の検討で決まっており、L2地震時には液状化を許容するものとしている。杭はタンク全体で404本配置され(図2参照)、基礎版と杭の結合方法は剛結合とし、支持層であるDs層に1D以上根入れしている。

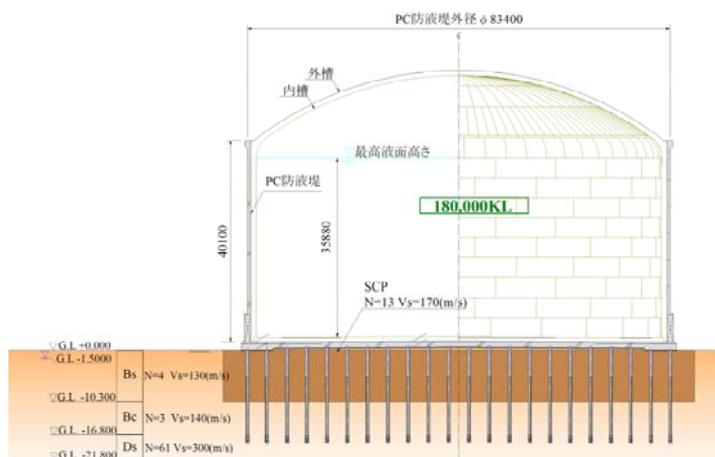


図1 検討モデル

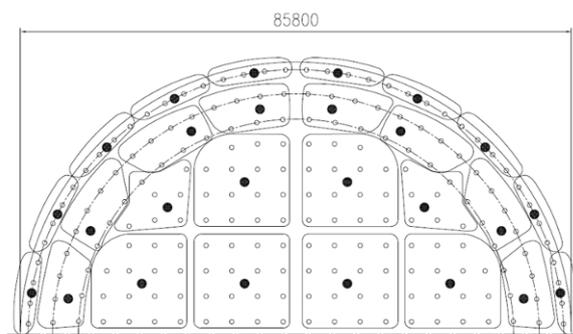


図2 杭伏図および集約した杭の配置図

3. 解析モデル

液状化解析は、有効応力解析プログラムLIQCA3D<sup>2),3),4)</sup>を使用した。解析モデルは半断面モデルとし、タンクは内槽と外槽に分け質点系でモデル化する。杭は、202本から26本に集約し(図2参照)、常時軸力を考慮したM-φトリリニアモデルによるビーム要素でモデル化する。地盤については液状化層であるBs層及びSCP改良地盤は繰返し弾塑性モデル<sup>3)</sup>, Bc層は修正ROモデル, Ds層は弾性モデル, モデル底面は粘性境界でモデル化している。

検討用地震動は、L2地震動としてLNG地上式貯槽指針に基づき特A地区の加速度応答スペクトルにフィッティングさせた加速度波形(図3参照)を用いて解析を行う。

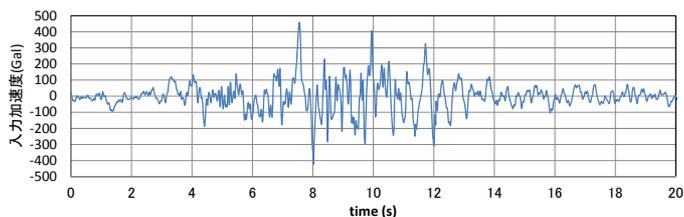


図3 入力加速度

キーワード 液状化, 杭基礎, LNGタンク, 変形性能照査, 有効応力解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 土木設計部 陸上設計室 TEL 03-5381-5418

#### 4. 検討方法および検討結果

液状化地盤上の杭基礎の変形性能照査の方法として、有効応力解析により地震動の振幅を多段階に分けて解析を実施し、その結果を用いて評価することを提案する。

本検討では、入力地震動の振幅を 0.3, 0.5, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.25 倍と変化させ、解析する。図 4 に、振幅倍率 1.0 倍のケースの、杭基礎にとって最も厳しい状態である杭頭曲率最大時刻の、過剰間隙水圧比のコンター図を示す。また、各ケースにおける杭頭曲率最大時刻に杭に加わる荷重、すなわちタンクの慣性力と、その時の杭頭の最大曲率(90°位置の最外縁の杭で発生)、降伏した杭の本数(実本数に換算)、基礎の杭下端からの相対変位、液状化の状態との関係を調べ、図 5、図 6 に示す。図 6 より、杭頭の最大曲率は振幅 1.0 倍で曲率塑性率 3.12 となっている。

本検討では、動的応答解析を地震動の振幅を多段階で実施した結果から基礎全体系としての降伏変位を設定し、設計用地震動のレベルがどの位置にあるかにより変形性能評価をする。通常、“基礎の変位が急増する点=降伏点”と定義される<sup>1)</sup>。しかし、地盤が液状化する場合は、液状化発生とともに基礎の変位が急増するが、杭の損傷とは必ずしも対応しない。つまり、通常の設定は適用できない。そこで杭の損傷が基礎全体系としての安全性を支配しているとして、杭頭の降伏に着目する。例えば、鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>5)</sup>に従うと、杭の半分が降伏した場合を杭基礎全体の降伏としており、安全側に、振幅 0.7 倍のケースでの基礎の変位量を降伏とすると、振幅 1.0 倍のケースでの基礎の変位量との比率  $\delta_{1.0}/\delta_{0.7}=1.98$  が応答塑性率となる。なお LNG 地上式貯槽指針<sup>6)</sup>では変位の許容塑性率は 2.5 であり、最大曲率による曲率塑性率は 3.12 であったのに対して、変位塑性率 1.98 は許容値におさまる結果となる。

#### 5. まとめと今後の課題

3次元有効応力解析で、杭基礎 LNG タンクの液状化時の挙動を検討し、新たな変形性能評価法について提案した。現在まで、1本ごとの杭の曲率塑性率で、杭の安全性を評価していたのに対して、この評価法により杭基礎全体系の変形性能照査が可能であると考えられる。

今後は、解析事例を増やすとともに、液状化地盤における杭基礎の降伏、終局、許容塑性率の設定方法について検討していく予定である。

**参考文献** 1)例えば、社団法人 日本道路協会(H14):道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp210-217 2)田口洋輔(1997):液状化による地盤・基礎構造物の3次元挙動に関する研究,岐阜大学大学院博士論文.3)Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S. (1999): A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus, *Geotechnique*, 49 (5), 661-680. 4)渦岡良介(2000): 地盤の液状化発生から流動までを予測対象とする解析手法に関する研究,岐阜大学大学院博士論文. 5)鉄道総合技術研究所(H11):鉄道構造物等設計標準・同解説, pp285-287 6)社団法人 日本ガス協会(2002):LNG地上式貯槽指針, pp254-258

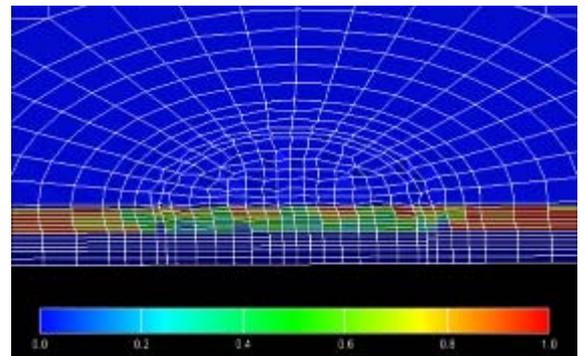


図 4 杭頭曲率最大時の過剰間隙水圧比のコンター図 (振幅倍率 1.0 倍)

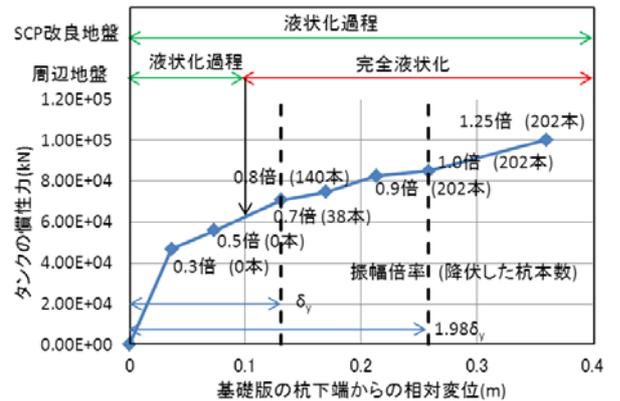


図 5 基礎版の相対変位とタンク慣性力の関係

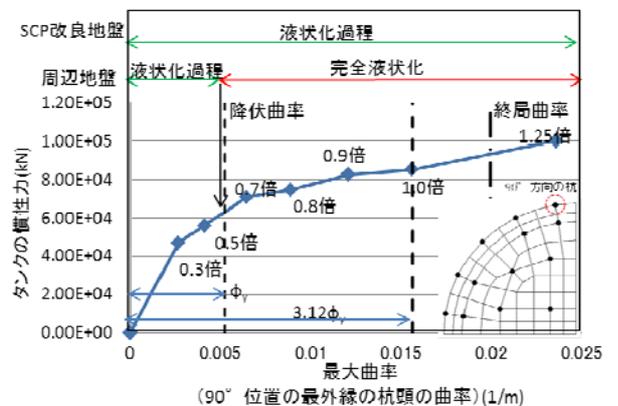


図 6 最大曲率とタンク慣性力の関係