

液状化地盤における杭基礎の耐震設計手法に関する研究

東電設計(株) 正会員 大熊弘行, 西村浩一
 正会員 石川利明, 佐藤正行
 東京電力(株) 正会員 佐藤 博

1.はじめに

液状化地盤中の杭基礎には上部工慣性力と地盤変位が作用するが、杭基礎の応答には杭剛性、地盤剛性、入力地震動の特性等種々のパラメータが影響するため挙動が複雑であり、従来、慣性力と地盤変位が同時に最大となるように安全側の設計をすることが多い。しかし、両者には位相差が生じる場合もあり、必ずしも液状化地盤を対象とはしていないが、近年ではこれを考慮した設計¹⁾がみられる。本研究は、慣性力と地盤変位の位相差を考慮した耐震設計手法の確立を目的に、簡易な解析による詳細な解析の再現性について数値解析による検討を行った。解析には、液状化時の杭と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元 FEM 有効応力解析 STADAS²⁾（以下、詳細解析と称す）、および質点系解析で求めた上部工慣性力と地盤変位を組合せた応答変位法による2次元骨組解析（以下、簡易解析と称す）を用いた。

2.解析条件および解析方法

図-1 に想定した地盤構成と物性値および杭基礎構造物（場所打ち杭 1000）の形状を示す。GL-4.0～GL-18.5m の砂層とシルト質砂層を液状化対象層とした。図-2 に解析に用いる入力地震動を示す。入力地震動は最大加速度(2E)を 200Gal に調整し、GL-52.6m の設計上の基盤に入力した。

図-3 に詳細解析の解析モデルを示す。地盤は非線形（液状化層:改良の飛田・吉田モデル、非液状化層:双曲線モデル）、上部工は線形の平面ひずみ要素で、杭は非線形（M - 関係）の梁要素でモデル化した。また、

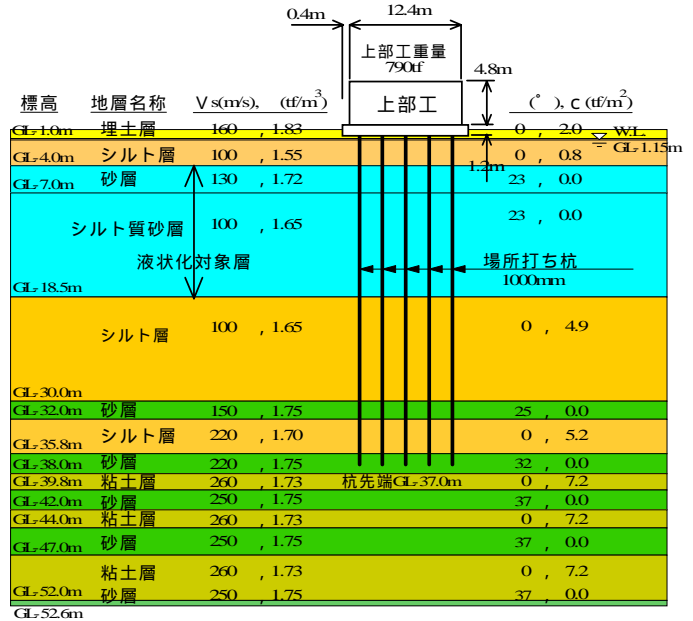


図-1 地盤構成と物性値, 杭基礎構造物の形状

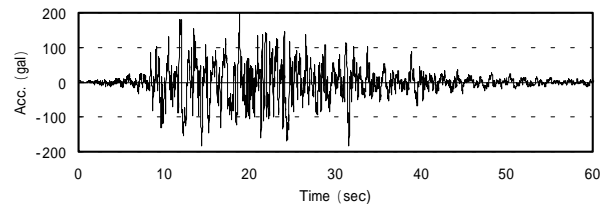


図-2 入力地震動（最大加速度 200Gal）

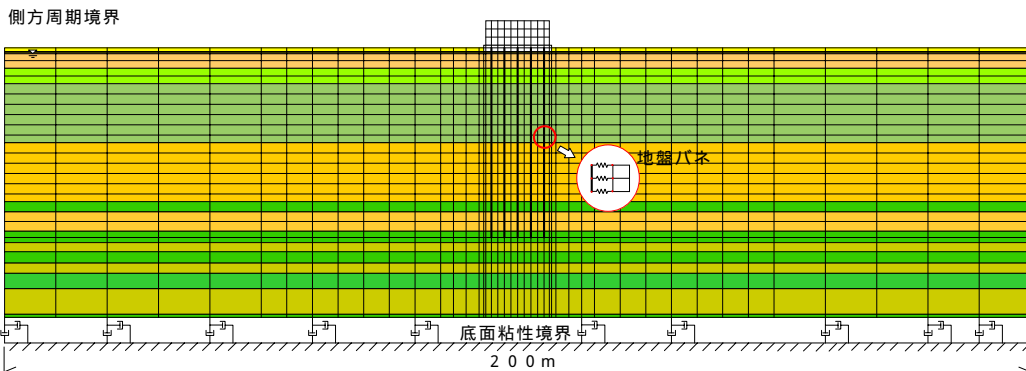


図-3 2次元 FEM 有効応力解析モデル

キーワード：液状化，杭基礎，慣性力，地盤変位

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3 丁目 3 番 3 号・TEL(03)4464-5538・FAX(03)4464-5290

杭と地盤間の相互作用を表現するために地盤ばねを設定した。初期地盤ばね値は「鉄道構造物等設計標準・同解説(基礎構造物・抗土圧構造物)」に準じて算定し、地震時にそれを低減させた。低減方法として、液状化層では澤田ら³⁾により示された過剰間隙水圧比と剛性低下率の関係式を用い、非液状化層では予め本地盤モデルで解析して得られた剛性低下率を用いた。

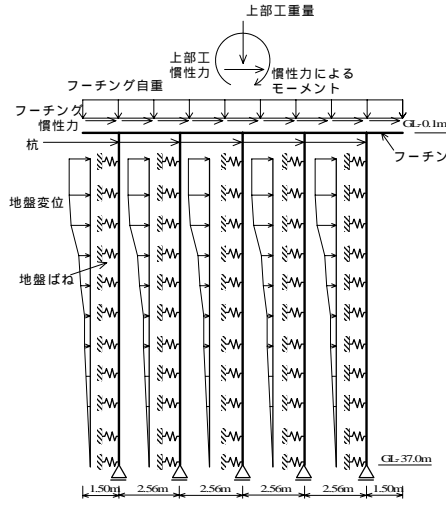


図-4 2次元骨組解析モデル

図-4に簡易解析の解析モデルを示す。杭は非線形(M - 関係)、フーチングは線形の梁要素でモデル化した。地盤ばねは詳細解析と同じものを用いた。また、上部工慣性力は質点系解析(地盤・杭基礎系のSRモデル)で求めたフーチング加速度による設計震度を用い、地盤変位は詳細解析による遠方地盤の地盤変位を用いた。なお、慣性力最大時(時刻 t_1)と地盤変位最大時(時刻 t_2)は、それぞれ質点系解析と詳細解析から得られた時刻で $t_1=19.39s$, $t_2=32.30s$ である。時刻 t_1, t_2 の設計震度は各々0.09, 0.04であり、地盤変位は図-5に示す通りである。

図-5に簡易解析の解析モデルを示す。杭は非線形(M - 関係)、フーチングは線形の梁要素でモデル化した。地盤ばねは詳細解析と同じものを用いた。また、上部工慣性力は質点系解析(地盤・杭基礎系のSRモデル)で求めたフーチング加速度による設計震度を用い、地盤変位は詳細解析による遠方地盤の地盤変位を用いた。なお、慣性力最大時(時刻 t_1)と地盤変位最大時(時刻 t_2)は、それぞれ質点系解析と詳細解析から得られた時刻で $t_1=19.39s$, $t_2=32.30s$ である。時刻 t_1, t_2 の設計震度は各々0.09, 0.04であり、地盤変位は図-5に示す通りである。

3.解析結果

図-6に詳細解析における全時間の杭の最大曲げモーメントを包絡させた分布図と、時刻 t_1 と時刻 t_2 の最大曲げモーメントを包絡させた分布図を示す。これより、詳細解析で杭にとって厳しい曲げモーメントは杭頭部と地中部(GL-20m, GL-32m付近)に発生しており、それらは概ね慣性力最大時か、あるいは地盤変位最大時であると言える。

図-7に詳細解析と簡易解析の杭断面力(曲げ,せん断力)と杭変位を比較したものを示す。これより、簡易解析は詳細解析に比べて概ね同じか、あるいは大きめの杭断面力となり、その分布形状はほぼ同じような傾向となった。

4.まとめ

簡易解析でも、慣性力最大時と地盤変位最大時に着目して解析を行えば、慣性力と地盤変位の位相差を考慮した設計が行える可能性が示唆できた。今後は、他の地盤モデルでも同様な傾向が得られるか検討する予定である。

参考文献

1)(財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説.耐震設計,1999.10
 2)Kurose,H.,Sato,M.,Ozeki,K.&Yoshida,N.2001：Effective stress analysis by shear strain controllable model and its application to centrifuge shaking model test, Proc. of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic, San Diego California, USA March,2001 3)澤田ら：液状化地盤中の基礎構造物の動的挙動に関する研究. 第10回日本地震工学シンポジウム,1998

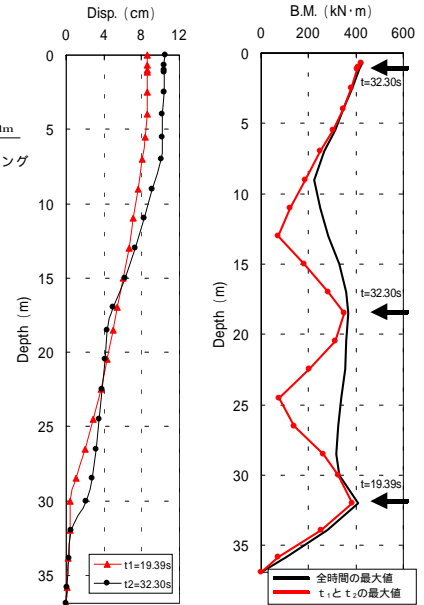
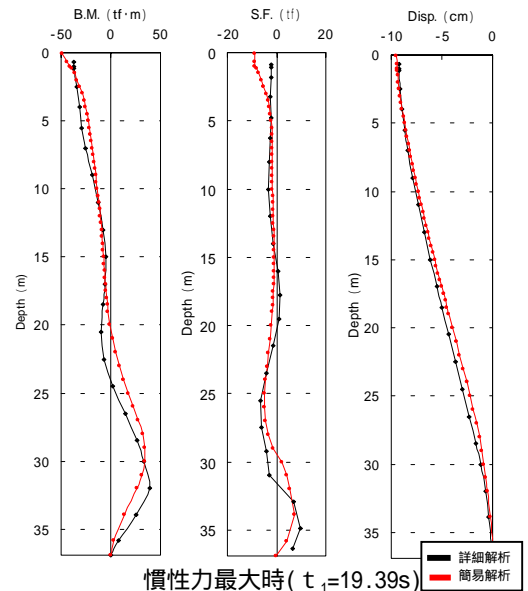
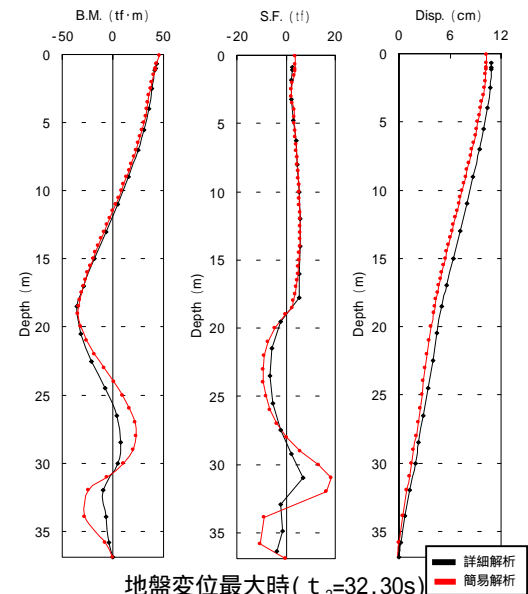


図-5 地盤変位分布

図-6 全時間と、時刻 t_1, t_2 の最大曲げ分布



慣性力最大時 ($t_1=19.39s$)



地盤変位最大時 ($t_2=32.30s$)

図-7 詳細解析と簡易解析の比較 (杭の曲げ,せん断力,変位)