

液状化地盤に杭基礎で支持された高压ガス設備の動的応答性状（その2） —遠心模型振動実験のシミュレーション解析結果—

高压ガス保安協会 フェロー会員 ○木全 宏之 小山田 賢治 大野 卓志
清水建設（株） 正会員 藤田 豊 後藤 聡子
東京電機大学 名誉会員 安田 進, 東京工業大学 正会員 盛川 仁

1. はじめに

前報（その1）の遠心模型振動実験を対象に、液状化地盤における球形貯槽—杭基礎—地盤連成系モデルによる3次元FEM有効応力解析手法を用いたシミュレーション解析を行った結果を報告する。

2. 解析モデルと解析諸元

解析モデルは遠心模型を1G場に換算した球形貯槽—杭基礎—地盤連成系の3次元FEMモデルとし、図1に示すように加振方向を対称軸とした1/2モデルとする。杭と支柱は鋼管で製作しており、鋼管の引張試験による降伏強度を用いたバイリニア型の非線形特性を与えている。液状化対象層となる地盤の珪砂7号と杭の支持層となる地盤の珪砂3号の地盤定数、せん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性を表1に示す。各地層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性は修正R-Oモデルで、珪砂7号のダイレイタンシー特性としておわんモデル¹⁾を採用し、そのパラメータを表2に示す。これらの地盤物性については、別途実施された室内試験結果を用いている。また、解析モデル底面は固定境界、側面はコの字型の無質量剛梁を付与している。

3. 入力地震動

解析に用いる入力地震動は、遠心模型振動実験において振動台から直接入力された加速度波形とし、（その1）で記載済みである。1G場に換算した入力地震動の最大加速度は 696cm/s^2 と大きな値であった。

4. 解析結果

(1) 最大応答分布と杭応力

解析結果のうち、最大応答加速度分布及び最大応答せん断ひずみ分布を図2に示す。最大応答加速度分布によれば、地盤モデルの底面近傍は杭の支持層相当（珪砂3号）の地盤のために、入力加速度と類似の高い応答加速度を示しているが、珪砂7号では液状化を生じて加速度は急激に低下し、地表ではかなり小さくなっている。応答せん断ひずみは、珪砂3号と珪砂7号の層境界で大きくなるとともに、貯槽左右の地盤では非対称になっている。地盤の最大応答せん断ひずみは杭頭周辺、珪砂3号と珪砂7号の層境界で5～15%程度、杭頭周辺では局所的に20%を越えるせん断ひずみが生じている。

杭頭及び杭の杭支持層境界部における曲げモーメント—曲率関係を図3に示す。同図より、杭は弾性状態で、降伏モーメントの0.7倍程度に留まっている。入力地震動としては、かなり大きな加速度であったが、短周期成分が主体で、杭の塑性化に影響を与える長周期成分が少ない加速度であったことが原因と考えられる。

(2) 時刻歴波形

代表的な位置の応答加速度波形及び過剰間隙水圧比波形を図4及び図5に示す。最大応答加速度を見ると、基礎版で $207(\text{cm/s}^2)$ 、球形貯槽重心で $353(\text{cm/s}^2)$ となり、応答加速度が増幅していることがわかる。一方、珪砂7号の過剰間隙水圧比は30秒あたりで1.0近傍となり、地盤全体にわたり液状化を生じている。そのため、自由地盤表面の最大応答加速度は $98(\text{cm/s}^2)$ とかなり小さな値になっている。

5. まとめ

3次元FEM有効応力手法によるシミュレーション解析を実施した結果、遠心模型振動実験と同様に土層全体に液状化を生じるとともに、杭は弾性状態に留まっていた。そのため、解析結果は（その1）の遠心模型振動実験結果と類似した動的応答性状を示していると推定される。

キーワード 3次元FEM有効応力解析, シミュレーション解析, 杭基礎, 球形貯槽, おわんモデル
連絡先 〒105-8447 東京都港区虎ノ門4-3-13 TEL 03-3436-6103

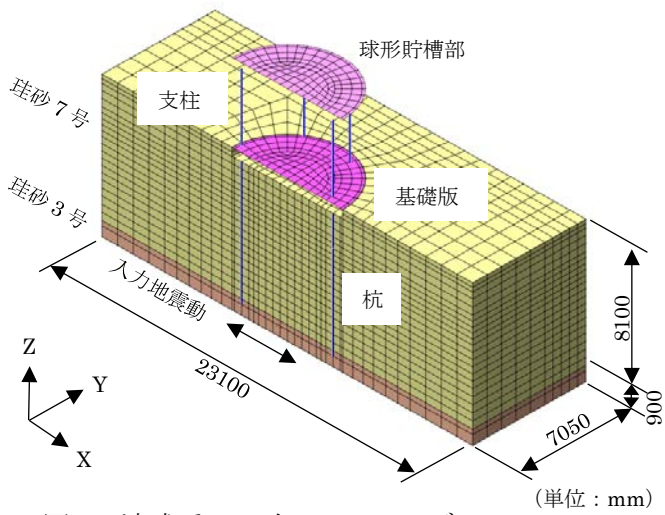
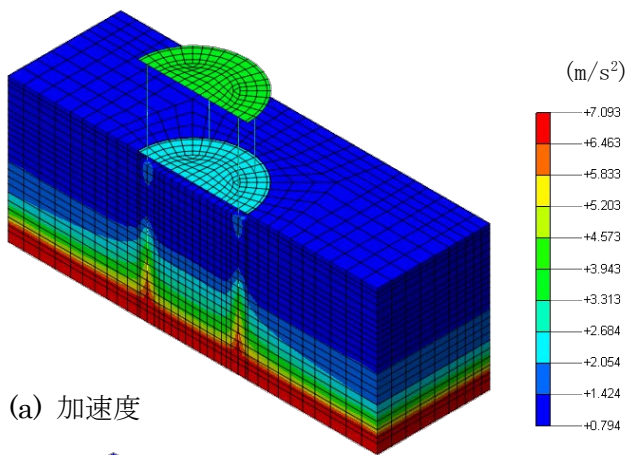
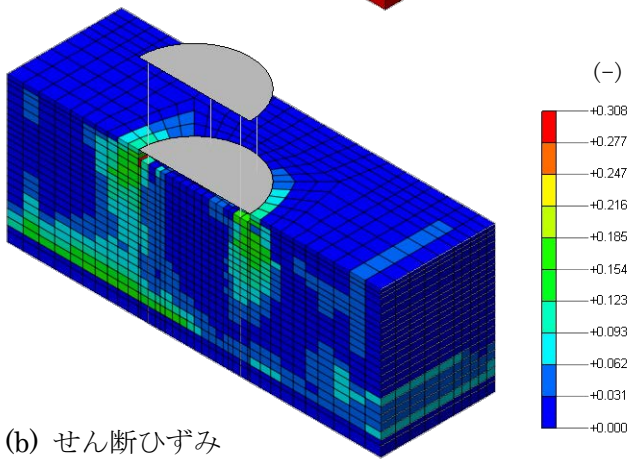


図1 連成系の3次元FEMモデル



(a) 加速度



(b) せん断ひずみ

図2 最大応答値分布

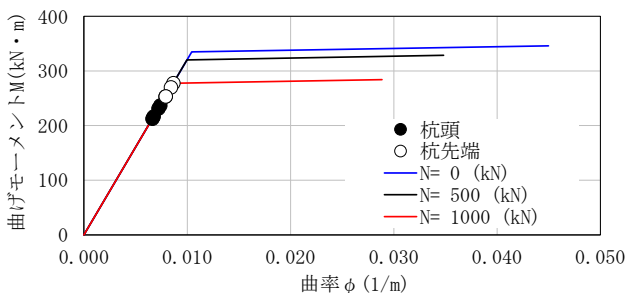


図3 杭のM-φ関係

表1 地盤定数 (R-Oモデル)

地層	密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$	初期せん断剛性 $G_{0i}(\text{kN/m}^2)$	基準ひずみ $\gamma_{0.5i}^{*3}$	最大減衰定数 $h_{\text{max}}(-)$	ポアソン比 ν
珪砂7号	1.84	7550	5.050×10^{-5}	0.30	0.33
珪砂3号	1.99	11815	5.983×10^{-5}	0.25	0.33

表2 ダイレイタンスー特性 (おわんモデル1)

地層	A	B	C	D	$C_s/(1+e_0)$	$C_c/(1+e_0)$	X_l
珪砂7号	-0.2	1.4	4.0	40	0.0060	0.0070	0.13

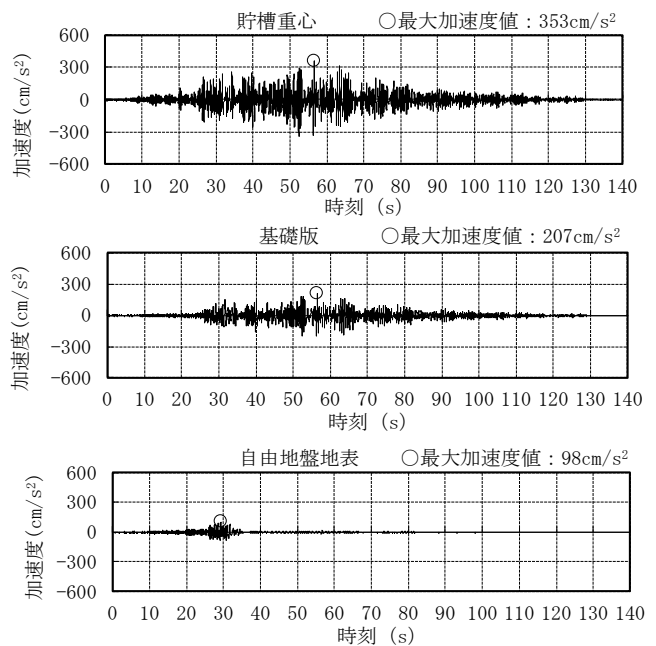
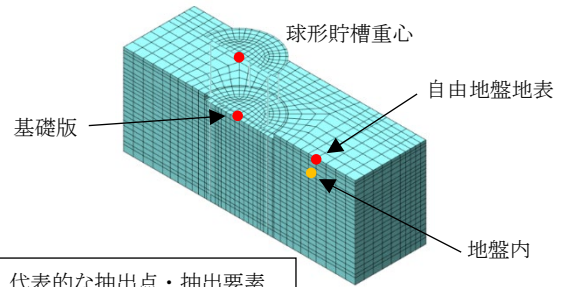


図4 応答加速度波形

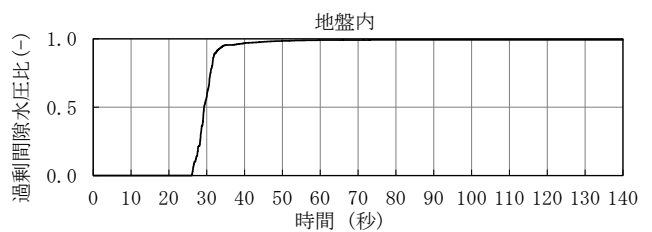


図5 過剰間隙水圧比(珪砂7号)

参考文献

1) 福武毅芳: 三次元有効応力解析プログラム HiPER (おわんモデル) と液状化シミュレーション, 清水建設研究報告, Vol. 96, pp.5-18, 2018.