

## 杭頭絶縁基礎の地震時挙動（その2：遠心模型振動実験のシミュレーション解析）

清水建設(株)

正会員

フェロー会員

○坂井康伸 福武毅芳 田地陽一 西村晋一 河田雅也

木全宏之

## 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>に続き、本論文では杭頭絶縁基礎の遠心模型振動実験に対するシミュレーション解析結果について報告する。遠心模型振動実験は、地震観測と同様、杭頭絶縁基礎の免震効果を確認するために実施したものである<sup>2)5)</sup>。シミュレーション解析は、三次元 FEM 非線形動的解析により実施した。

## 2. 遠心模型振動実験の概要

遠心模型振動実験は、図1に示すように長さ770mm、幅470mm、高さ370mmのせん断土槽を用い、遠心加速度30g（模型縮尺1/30）で実施した。模型地盤は乾燥地盤であり、地盤材料として7号珪砂（ $G_s=2.635$ 、 $e_{max}=1.185$ 、 $e_{min}=0.712$ 、 $D_{50}=0.147\text{mm}$ ）を用い、空中落下法により相対密度 $D_r=60\%$ を目標に作製した。杭模型は、外径 $D17\text{mm}$ 、肉厚 $1\text{mm}$ 、長さ $268\text{mm}$ の真鍮製パイプで9本杭構造とし、杭芯距離は $42.5\text{mm}$ （ $2.5D$ ）とした。杭先端はセメント系改良体（せん断波速度 $V_s=300\text{m/s}$ ）に $37\text{mm}$ 根入れし、構造物模型と杭頭を $8.5\text{mm}$ （ $0.5D$ ）絶縁し、杭頭部には真鍮製のキャップをした。また、構造物の残留沈下の抑制を目的に、杭頭レベルにジオテキスタイル（ $204\text{mm}\times 204\text{mm}$ 、引張強度 $12\text{kN/m}$ ）を敷設した。構造物模型は、長さ $136\text{mm}$ 、幅 $136\text{mm}$ 、高さ $88\text{mm}$ のアルミ製ブロックとし、重量は $4.4\text{kg}$ （実物換算 $1,190\text{kN}$ 、接地圧 $69.9\text{kN/m}^2$ ）である。

図1には併せて杭頭絶縁基礎の計測器配置を示すが、計測項目は、地盤と構造物の水平加速度、地盤の鉛直変位、構造物の水平、鉛直変位（3箇所）、模型杭のひずみである。杭ひずみは、杭内部にひずみゲージを貼り付け、P1杭7深度、P2杭、P3杭6深度、P4杭1深度で計測した。ひずみゲージのリード線は杭下端部から杭外部に出す構造とした。

入力波は図2に示すとおり $60\text{Hz}10\text{波}$ （実物換算 $2\text{Hz}$ ）の正弦波であり、最大加速度は $9\text{g}$ （実物換算 $300\text{Gal}$ ）を目標とした。なお、遠心模型振動実験は、杭頭絶縁基礎のみならず杭頭剛結基礎、直接基礎についても実施した。

## 3. シミュレーション解析

遠心模型振動実験結果に対し、三次元 FEM 非線形動的解析によるシミュレーション解析を実施した。

シミュレーション解析は実換算の形状寸法で実施することとし、地盤、構造物はソリッド要素、杭は梁要素、ジオテキスタイルはシェル要素でモデル化した。杭頭付近の解析モデルを図3に示すが、外径 $D510\text{mm}$ の杭形状を考慮し、地盤（ソリッド要素）の節点と対応する同一レベルの杭（梁要素）の節点とに同変位条件を付与して杭体積を考慮した。解析定数は表1に示すとおりである。地盤にのみ多重バネRamberg-Osgoodモデルとおわんモデル<sup>6)</sup>を適用した非線形性を考慮し、地盤以外は線形弾性体と仮定した。

シミュレーション解析結果の一例を図4、図5に示す。これより、地盤については、水平加速度ならびに鉛直変位とも遠心振動実験結果を精度良く模擬できていることがわかる。一方、構造物について、水平加速度は概ね遠心振動実験結果を模擬できているものの、鉛直変位については解析結果は実験結果の1/4程度と小さな値となっている。ところで、最大合ひずみ分布において、杭頭付近の地盤には局所的に40%近くの大きなひずみが発生している。このような大ひずみ発生現象を模擬するためには、破壊規準を導入する等、地盤の構成則を改良する必要があると考えられる。

今後は、より精度の高いシミュレーション解析を試み、実構造物への適用に向けて本技術の確立を目指していく予定である。

## 参考文献

- 1) 木全宏之他：杭頭絶縁基礎の地震時挙動（その1：地震観測による検討），土木学会第69回年次学術講演会，2014.
- 2) 張至鎬他：遠心模型実験による杭頭絶縁基礎の地震時挙動の検討，第13回日本地震工学シンポジウム，pp.2446-2452，2010.
- 3) 田地陽一他：遠心振動実験による杭頭絶縁基礎の地震時挙動に関する研究，第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集，2011.
- 4) 田地陽一他：杭頭絶縁基礎の地震時挙動に関する遠心模型実験，第46回地盤工学研究発表会，2011.
- 5) 田地陽一他：杭頭絶縁免震基礎の地震時挙動に関する研究，第9回地盤工学会関東支部発表会，2012.
- 6) 福武毅芳：おわんモデルと履歴関数モデルを併用した構成式，地盤材料の構成式ワークショップ(第1回)，地盤工学会，2012.

表1 解析定数

|          | 単位体積重量<br>$\gamma$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | ヤング係数<br>$E(\text{kN/m}^2)$ | ポアソン比<br>$\nu$ | 断面積<br>$A(\text{m}^2)$     | 断面二次モーメント<br>$I(\text{m}^4)$ |
|----------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------|
| 構造物      | 26.5                                      | $2.10 \times 10^7$          | 0.2            | —                          | —                            |
| 杭        | 21.0                                      | $1.01 \times 10^8$          | 0.2            | $4.520 \times 10^{-2}$     | $1.308 \times 10^{-3}$       |
| ジオテキスタイル | 6.8                                       | $1.01 \times 10^6$          | 0.2            | —<br>( $t=0.006\text{m}$ ) | —                            |

|          | 単位体積重量<br>$\gamma$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | せん断弾性係数<br>$G_{0s}(\text{kN/m}^2)$ | せん断弾性係数<br>$G_0(\text{kN/m}^2)$ | 規準ひずみ<br>$\gamma_{0.5i}$ | ポアソン比<br>$\nu$ |
|----------|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------|
| 地盤*)     | 13.6                                      | $3.666 \times 10^3$                | —                               | $8.171 \times 10^{-5}$   | 0.33           |
| セメント系改良体 | 13.6                                      | —                                  | $1.088 \times 10^5$             | —                        | 0.33           |

\*) 地盤については拘束圧依存を考慮し、単位有効拘束圧  $1\text{kN/m}^2$  での  $G_{0s}$ 、 $\gamma_{0.5i}$ を示す。

キーワード：杭頭絶縁基礎 免震効果 遠心模型振動実験 シミュレーション解析

〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL 03-3561-3894 FAX 03-3561-8672

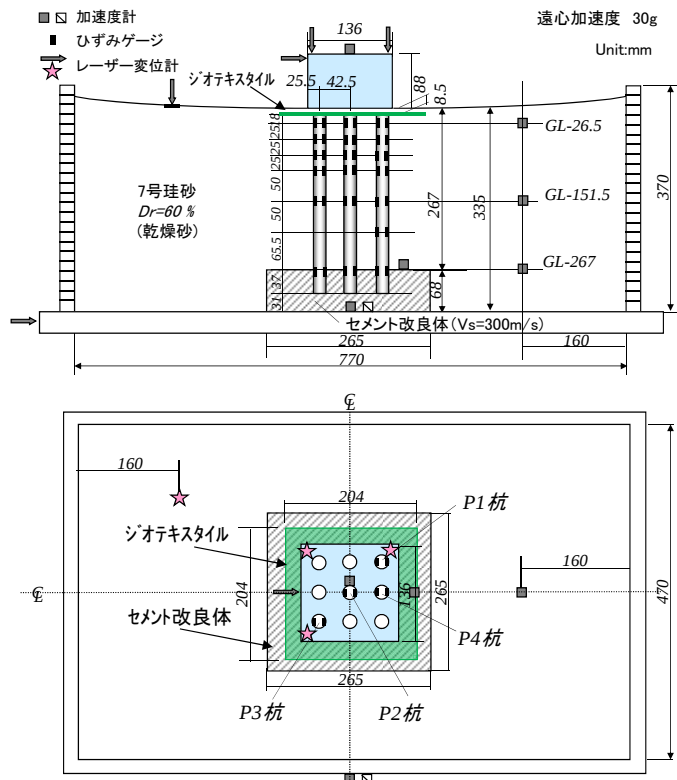


図1 遠心模型振動実験モデルと計測器配置  
(杭頭絶縁基礎)

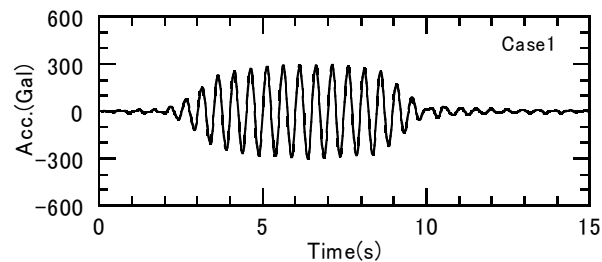


図2 入力波形 (プロトタイプ)

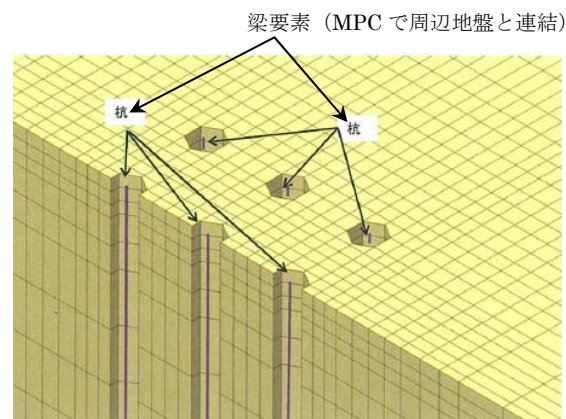
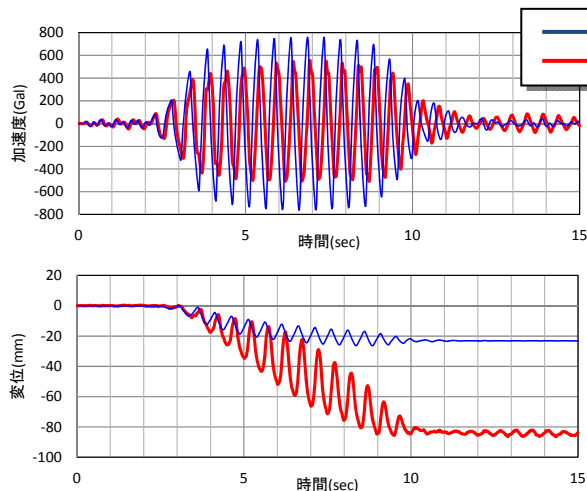
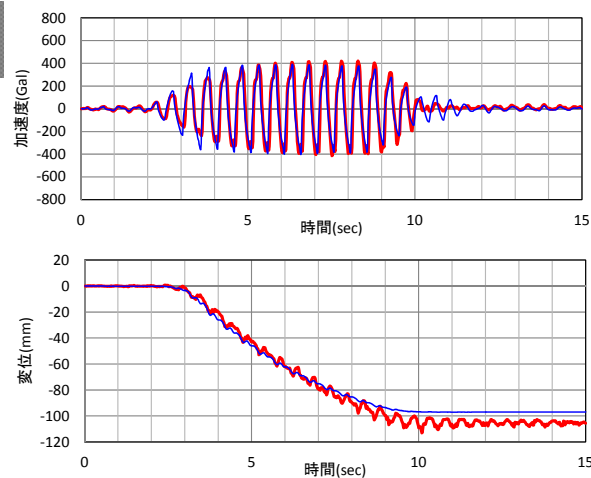


図3 解析モデル (杭頭付近)

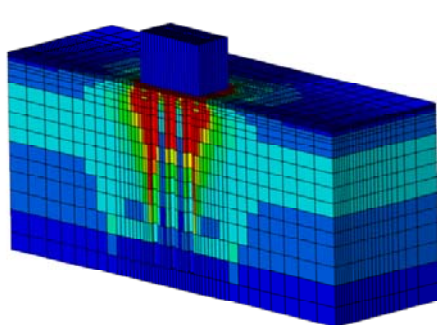


(a) 構造物頂部

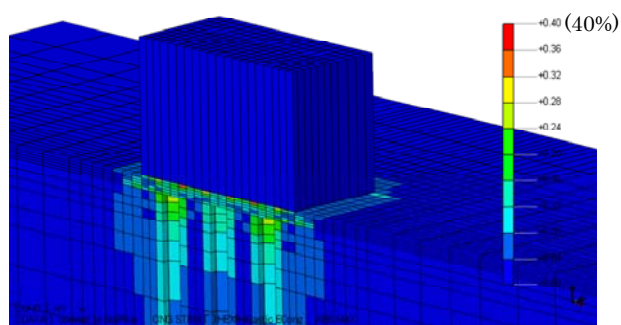


(b) 地盤 (GL-0.795m)

図4 水平加速度・鉛直変位波形 (プロトタイプ)



(a) 全体



(b) 杭頭付近 (カラーバーのスケール変更)

図5 最大合ひずみ分布