

## 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1）

## —遠心模型振動実験—

(株)大崎総合研究所 正会員 ○福武 毅芳

清水建設(株) 正会員 桐山 貴俊 藤田 豊

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

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

高压ガス施設の多くは液状化が懸念される臨海部に立地している。よって液状化地盤中の杭基礎で支持される高压ガス設備の動的応答を把握することは重要である。本報(その1)では、球形貯槽～杭基礎系模型を対象に地盤の液状化を考慮した遠心模型振動実験を実施した。なお、本検討は「経済産業省委託 令和3年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業(高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究)」として実施されたものである。

## 2. 実験概要

実機モデルとして貯蔵容量 100m<sup>3</sup>の小型球形貯槽を対象とし、1/30の単純化した縮小実験モデルを設定した。図1に遠心模型振動実験モデルと計測器配置を示す。土槽はせん断土槽を用いている。液状化層は珪砂7号( $D_r=50\%$ )、支持層は珪砂3号( $D_r=100\%$ )である。遠心加速度は 30g であり、間隙流体としてシリコンオイル(30cs)を用いて飽和地盤を作製した。 $V_s$ は深度中央で約 130m/s であった。構造物は6本の鋼管支柱( $\phi 15.5\text{mm}$ ,  $t0.25\text{mm}$ )と6本の鋼管杭( $\phi 13.54\text{mm}$ ,  $t0.27\text{mm}$ )、アルミ円盤の基礎版( $\phi 230\text{mm}$ , 重量 21.95N)と球形貯槽を模擬した頂版( $\phi 230\text{mm}$ , 重量 21.84N)から成る。上部構造物の固有周期は 0.23 秒(1G 場)である。液状化加振前に行った微小スイープ加振により、地盤、貯槽-基礎-地盤連成系、貯槽の固有周期は、それぞれ 0.27 秒、0.29~0.33 秒、0.30 秒であった。なお、実験結果は 1G 場に換算した結果を示す。

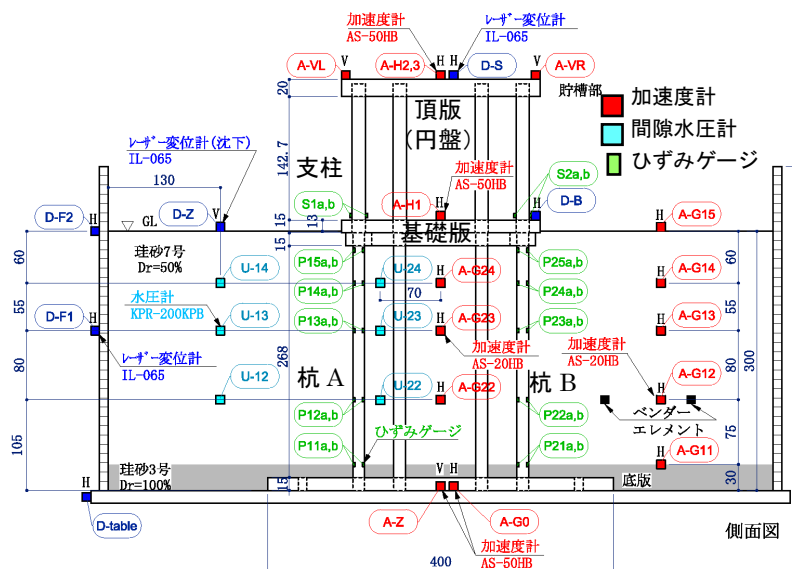


図1 遠心模型振動実験モデルと計測器配置(単位 mm)

図2に入力加速度波形と応答スペクトルを示す。卓越周期は 0.54 秒であり、1.0 秒以上の長周期成分はほとんど無い。

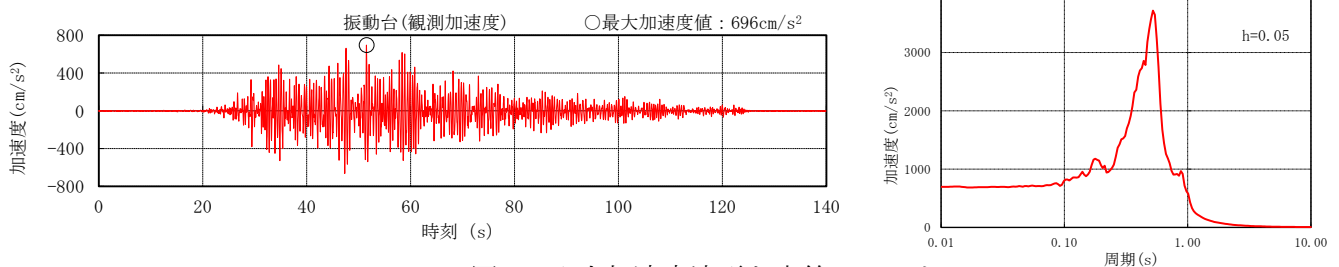


図2 入力加速度波形と応答スペクトル

キーワード 液状化, 遠心模型振動実験, 杭基礎, 球形貯槽

連絡先 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 (株)大崎総合研究所 TEL 03-3508-8011

### 3. 実験結果と考察

図3に過剰間隙水圧の最大値深度分布を示す。側方地盤，構造物直下地盤の双方において，全層にわたりほぼ有効上載圧に達し，液状化に至っていることがわかる。

図4に加速度の最大値深度分布を示す。側方地盤，構造物直下地盤とも最大値深度分布は類似しており，地表に向かって加速度は大幅に減少している。最大入力加速度  $696 \text{ cm/s}^2$  に対し，地表付近では最大  $60 \sim 70 \text{ cm/s}^2$  程度に減少している。これは，地盤（珪砂7号）の全層液状化に伴って，地盤剛性が大きく低下して加速度が増幅せず減少したためである。構造物については，基礎版が最大  $255 \text{ cm/s}^2$  に対して頂版は最大  $364 \text{ cm/s}^2$  であり，増幅しているが，入力加速度よりは小さくなっている。これも地盤の液状化に伴う現象と考えられる。

図5に支柱基部及び杭の動的軸ひずみと曲げひずみの最大値深度分布を示す。杭の軸ひずみは，深度方向に概ね一定の値となっている。これは上部構造物-基礎系のロッキングに起因して発生したものである。一方，杭の曲げひずみは杭頭と杭先端で大きく，最大  $1200 \sim 1300 \mu$  の同程度の値となっている。杭頭の曲げひずみは主に上部構造の慣性力によって発生したもので，杭先端の曲げひずみは地盤震動（変位）によって発生したものと考えられる。両者が同程度の値となっていることは，高压ガス設備の基礎の耐震設計では主に上部構造の慣性力のみが考慮されているが，通常考慮されない地盤震動（変位）の影響が無視できないことを示している。杭の引張試験結果から，杭の降伏ひずみは約  $1600 \mu$  であり，杭は塑性化せず弾性範囲の状態と考えられる。支柱基部の軸ひずみや曲げひずみについては，杭のひずみの  $1/5$  程度以下でかなり小さく，支柱（貯槽）も弾性範囲の状態となっている。これは，地盤の液状化に伴って構造物の加速度応答が低減されたことに対応し，発生ひずみが減少し，抑制されたものであると考えられる。

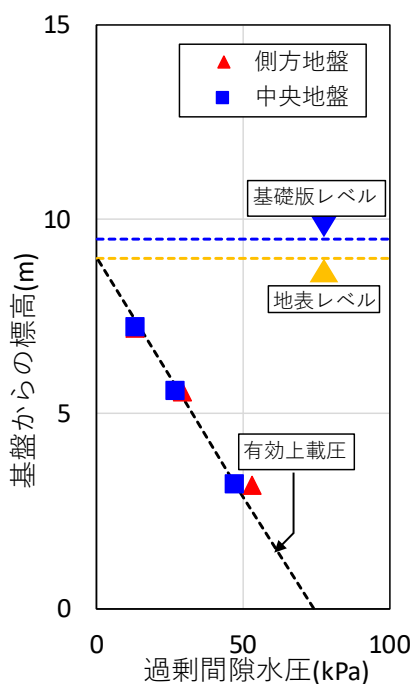


図3 過剰間隙水圧の最大値分布

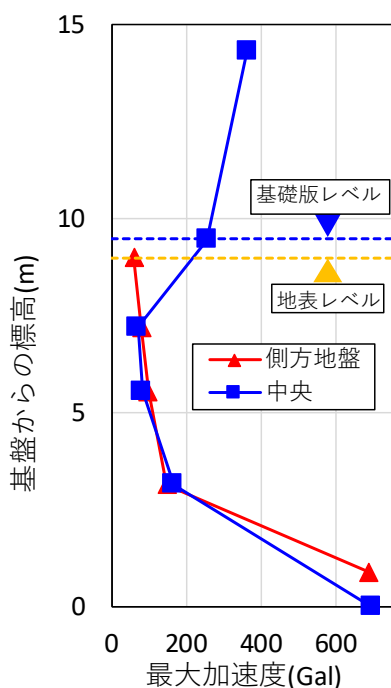


図4 加速度の最大値分布

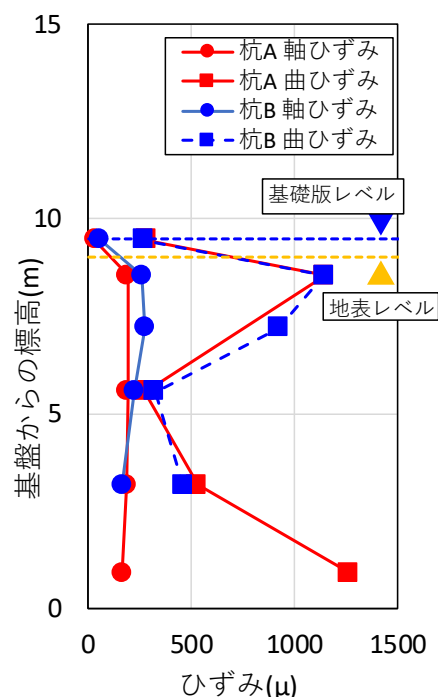


図5 杭の動的軸ひずみと曲げひずみの最大値分布

### 4. まとめ

地震波入力による遠心模型振動実験において，地盤の液状化は確認されたものの，杭は塑性化しなかった。高压ガス設備の基礎の耐震設計では主に上部構造の慣性力のみが考慮されているが，通常考慮されない地盤震動（変位）の影響が無視できないことがわかった。なお，実験にご協力頂いた清水建設の小田切瑞生氏，岩井俊之氏に感謝の意を表します。