

日本鋼管(株) 正員 橋山幸満
長岡弘明
○ 柳 信昭

まえがき 近年LNG貯蔵用等地下式円筒貯槽が建設されているが、地盤、円筒壳体との相互作用を考慮した地下式貯槽の振動性状は未だ明らかにされていない。そこでここでは貯槽壳体、地盤及び円筒壳体の三者を連成系とした解析手法を示し、さらに実験を行って解析手法の精度の検証を行ったのでその結果を報告する。

解析手法 解析法としては有限要素法を用い、地盤は履歴減衰をもつ等価線形体、円筒壳体は完全流体としてそれぞれ四辺形4節点アイソパラメトリック要素を用い、貯槽は薄肉弾性シェル又は弾性ソリッド要素を用いてモデル化する。解析モデルは軸対称構造、非軸対称振動問題として扱い、対称軸まわりの円周方向に、変位、動液圧、荷重をフーリエ級数に展開し3次元問題を2次元問題に帰着させて計算自由度の縮小をしている。解析モデルの遠方境界には実体波の定常減衰が消失する振動エネルギーを吸収する境界条件を用い半無限地盤を表わしている。

運動方程式 円振動数 ω 、地盤と貯槽壳体の節点変位を $U(\omega)e^{i\omega t}$ 、円筒壳体の節点動液圧を $P(\omega)e^{i\omega t}$ として定常振動状態の流体の運動方程式は次式で表わされる。

$$(\omega)^2[M_F] + [K_F]\{P(\omega)\} = -\omega^2[A_F]\{U(\omega)\} \quad (1)$$

ここで $[M_F]$ 、 $[K_F]$ は流体の運動に関する量である。右辺の $-\omega^2[A_F]\{U(\omega)\}$ は壳体が接触している貯槽壳体の加速度が流体に及ぼす影響を表す項である。

貯槽と地盤の運動方程式は節点荷重 $\{F(\omega)\}e^{i\omega t}$ として次式で表わされる。

$$(-\omega^2[M_s] + i[D_s] + [K_s])\{U(\omega)\} = [B_F]\{P(\omega)\} + \{F(\omega)\} \quad (2)$$

$[M_s]$ 、 $[K_s]$ はそれぞれ質量行列、剛性行列、 $[D_s]$ は地盤の履歴減衰を表わす行列である。右辺の $[B_F]\{P(\omega)\}$ は円筒壳体の動液圧による節点外力である。

ここでは地盤、貯槽壳体、流体の連成振動問題として(1)、(2)式を連立させて運動方程式を解いている。

振動実験 実物の約1/30縮尺の鋼製円筒模型貯槽をN値10前後の埋立砂に埋設し起振機(BCS-A-200)を用い模型貯槽の頂板を水平方向に最大振幅3tonの加振し模型貯槽本体の中心部水平加速度と円筒壳体の動液圧を測定した。実験は模型貯

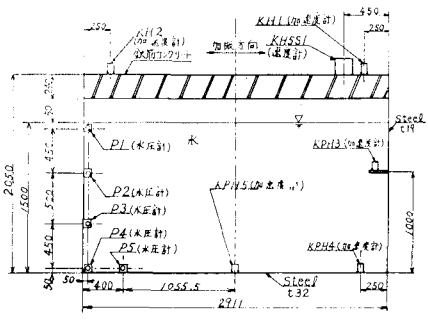


図1 模型貯槽の計測位置

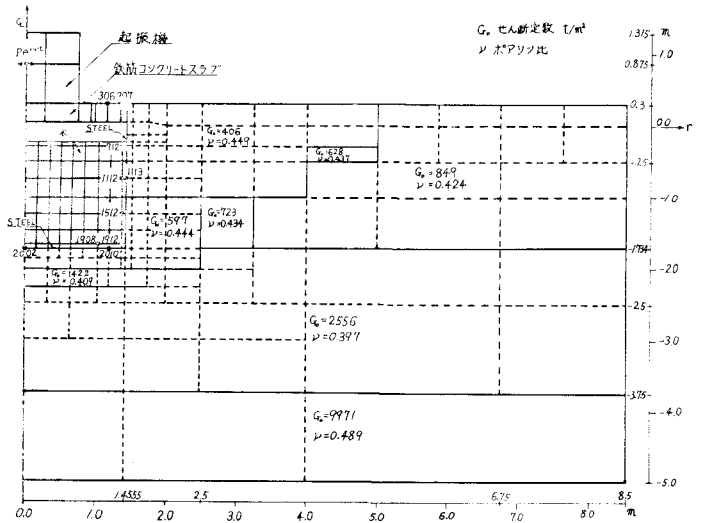
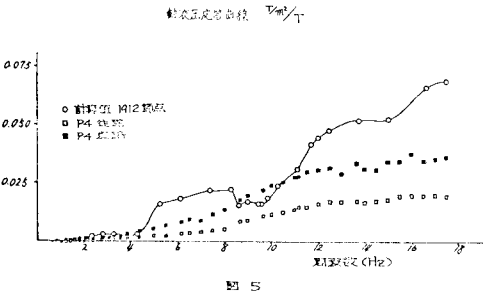
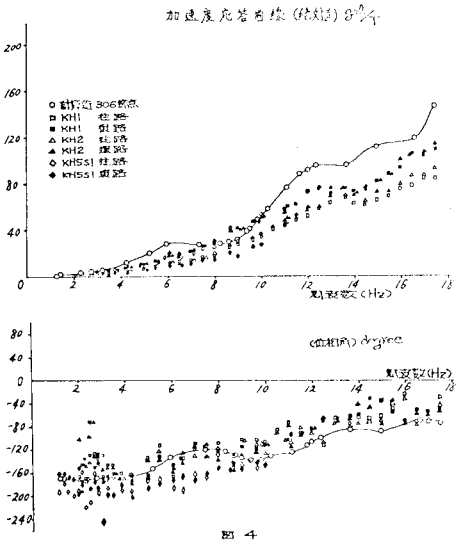
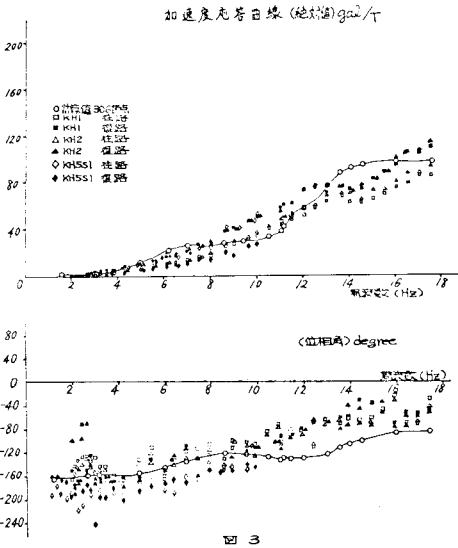


図2 地盤の有限要素分割と土質定数

槽内部に変体のない場合についても行った。模型貯槽の概要と、加速度と動液圧の計測位置を図1に示す。実験は2.03Hzから17.5Hzまで往復行った。

実験モデルの解析 解析モデルの有要素分割とPS検層による弾性波速度から得られた地盤のせん断定数とポアソン比を図2に示す。同図に示す 10^{-6} 歪レベルのせん断定数を用いた模型貯槽真板の水平加速度の計算応答値を実験値とともに図3に示す。同図から計算値と実験値の応答の傾向があまり良く一致していない。そこで、実験時の地盤の歪を計算で求め、地盤の剛性率、減衰定数をSeed-Idriss (1970)の砂の歪依存曲線より求めた値を用いた計算結果を図4に示す。図5に計算動液圧周波数応答曲線を実験値とともに示す。模型貯槽内部に変体がない場合の実験値と解析結果の比較を行ったがその結果は紙面の都合上当日発表する。

あとがき 実験モデルの解析結果から、地盤定数の歪依存性を考慮すれば、水平加速度応答について、実験値と解析値はその定性的傾向、定量的応答値ともよく一致した。動液圧は定性的、定量的にあまり良い一致はみられなかった。実験値においても往路と復路の応答が大きく異なっているため動液圧については実験手法等今後検討が必要であろう。



参考文献 1) J. Lysmer and R. L. Kuhlemeyer (1964) Finite Dynamic Model for Infinite Media. Proc. A.S.C.E., Vol. 45, NO. B14, PP854-877