

円筒タンクに設置した重り付浮屋根の地震入力に対する制振効果

正会員 ○高西照彦

九州産業大学 フェロー 水田洋司

九州産業大学 博士前期課程 矢野健太郎

1. はじめに

著者らは前論¹⁾において、重り付浮屋根の弾性変形を考慮した場合について、それを設置した円筒タンク内容液の水平定常加振に対する振動解析を行ってその解析解を導いた。さらに、その理論式を用いて数値計算を行い、得られた結果と模型実験を行うことによって得られた結果とが比較的良く一致することを示した。

本論においては、まず、加振入力として地震波を用いた場合について、それぞれ(a)重り付浮屋根を設置した円筒タンク (b)浮屋根のみを設置した円筒タンク (c)浮屋根も取除いた単円筒タンクに対して時刻歴応答計算を行った。さらに、上記の(a),(b),(c)の各場合についてそれぞれ模型実験を行い、得られた結果と理論解析によって得られたそれとを比較して、両者が比較体よく一致することを示した。最後に、(a),(b),(c)の最大応答値を比較することによって、3者の中では(c)の重り付浮屋根の場合の制振効果が一番大きいことを示した。

2. 理論解析について

まず、図-1に示すような重り付浮屋根を設置した円筒タンクが水平加振を受けた場合の内容液 - 浮屋根 - 単振子系に対する振動方程式は、それぞれ(a)振子に対する振動方程式 (b)内容液に対する振動方程式 (c)浮屋根に対する振動方程式を求めることによって得られる。さらに、浮屋根のみを設置した場合については、上記の(b),(c)の振動方程式を用いればよい。最後に、浮屋根も取除いた単円筒の場合については、(b)のみの振動方程式を用いればよい。解析理論の詳細については、既に、文献(1)に述べた。

入力加速度 $\ddot{\delta}(t)$ が与えられたとき、上記で導いた理論式の数値計算にはニューマークの β 法を用い、 $\beta = 1/6$ を採用した。

3. 模型による加振実験及び数値計算結果と実験結果との比較

模型を用いた振動実験においては、内径 58 cm, 厚さ 1 cm, 高さ 80 cm のアクリル製円筒容器に水深が 50 cm になるよ

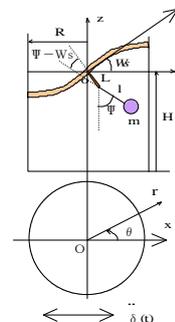


図-1 重り付浮屋根を設置した円筒タンクと座標系

うに水を満たした後、単振子を取付けた浮屋根を浮べ、これを振動台上に設置して、入力地震波として兵庫県南部地震で記録された Kobe EW を用いて加振し、加振方向の壁面動水圧と振動台加速度の時刻歴を計測した。振動台は必ずしも入力地震波を忠実に再現できているとは言い難いので、数値計算には計測によって得られた振動台加速度を擬似 Kobe EW として用いた。なお、このとき、原波形の最大加速度値 619.2 Gal を 57.01 Gal に、継続時間 50 秒を 30 秒に調整して用いた。

浮屋根は直径 58 cm, 厚さ 1 cm, 質量 266 g, 剛度 0.4125 Nm の発泡スチロール製円板である。単振子は重りの直径 4.96 cm, 質量 500 g の鉄球である。振子の長さについては、これを 11.6~18.0 cm に渡っていろいろ変えた場合について実験を行った。浮屋根と振子の支点を結ぶ支柱の長さは 5.3 cm とした。図-2 に振動台入力加速度である擬似 Kobe EW

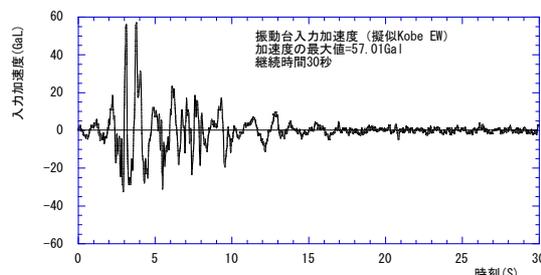


図-2 振動台入力加速度 (擬似 Kobe EW)

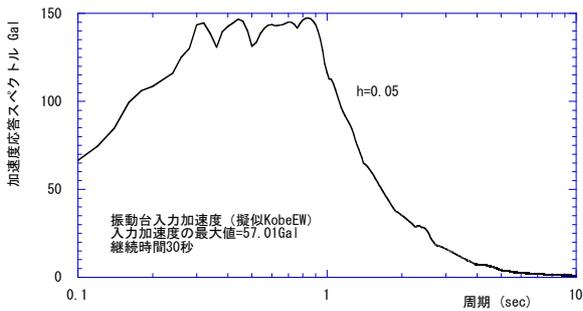


図-3 擬似 Kobe EW の加速度応答スペクトル

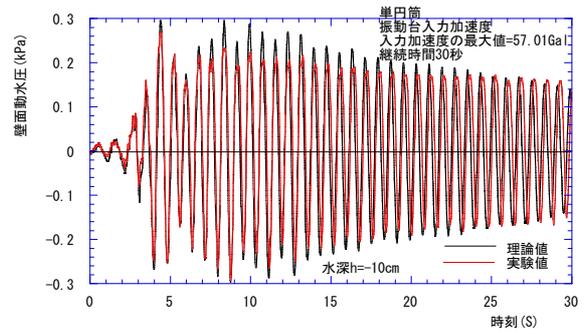


図-6 壁面動水圧の応答曲線(単円筒)

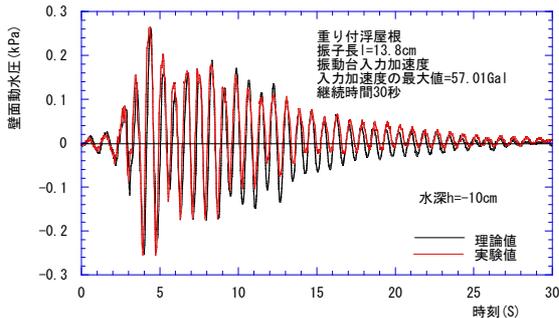


図-4 壁面動水圧の応答曲線(重り付浮屋根)

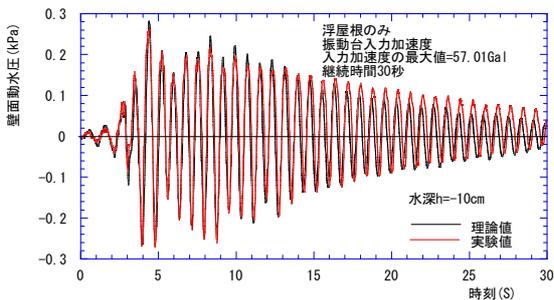


図-5 壁面動水圧の応答曲線(浮屋根のみ)

を示した。図-3はその加速度応答スペクトルで、減衰定数が0.05の場合である。振子長が12~14 cmの場合、模型円筒タンク構造系の1次の固有振動数は1.22~1.28 Hzの範囲にある。

応答計算結果の一例を実験値と比較して図-4~6に示す。応答計算ではその積分時間間隔 Δt は、採用した当該構造物の最大振動次数に対する固有周期の1/3~1/5になるように定めた。また、振動台入力波は0.02秒間隔で記録されているので、計算に必要な時間点の加速度が記録されていない場合には、振動台入力波記録の加速度値をその時間間隔の間で線形補間を行うことによって新たに得た値を用いた。図-4は重り付浮屋根、図-5は浮屋根のみ、図-6は単円筒タンクのみでの結果である。図はいずれも水深10 cmにお

ける壁面動水圧の時刻歴応答を示したもので、黒実線が理論値を、赤実線が実験値を表している。図から、いずれの場合についても両者は比較的良く一致しているといえよう。

4. 重り付浮屋根の制振効果について

図-7に、図-4~6におけるそれぞれの最大応答値及び単円筒の場合を基準としたときの応答値の比を示した。同図から、3者の中では重り付浮屋根を設置した場合が一番制振効果が高く、その最大応答値は単円筒のそれに比べて約1割小さくなっていることがわかる。なお、図-4~6を見れば、入力加速度が最大値を過ぎた後の時刻歴応答については、重り付浮屋根の場合の応答曲線が最も急速に減衰していることがわかる。ついで、浮屋根のみの場合のそれは重り付浮屋根の場合ほどではないが、やはり顕著な減衰を示している。これらに反して、単円筒の場合のそれはかなりゆっくりとした減衰を示していることが分る。

以上のことから、重り付浮屋根は他のパッシブな減衰装置と同様に、それを設置した構造物が不規則な入力を受けたとき、その初期段階においては制振効果が比較的小さいが、それ以後についてはその効果が大きくなって、当該構造物の振動をより早く減衰させることが出来るといえよう。

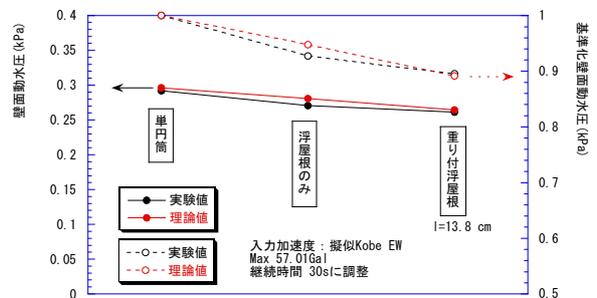


図-7 最大動水圧応答値の比較

- 1) 高西・水田・川口：一自由度振動系を設置した浮屋根による円筒タンクのスロッシング波高の低減，構造工学論文集，Vol. 55A, 2009.3.