

偏心二重円筒タンク内溶液の地震波入力に対する応答

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、偏心二重円筒タンク内溶液に対して水平定常加振実験とその理論解析を行い、模型実験によって得られた結果と理論式を用いた数値計算によって得られた結果とを比較して、両者が比較的良好一致することを示した。

本論においては、加振入力として地震波を採用した場合について、前論で導いた理論式を用いて数値解析を行い、得られた結果を、模型を用いて行った振動実験から得られた結果と比較することによって、本論の解析法が不規則入力の場合に対しても有用であることを示すことをその目的としている。

2. 理論式及び解法

図-1に示すような偏心二重円筒タンクが水平加振を受けた場合の内槽と外槽との間に満たされた内溶液に対する理論解は、タンクが剛のとき、次式で表される速度ポテンシャル φ が求められれば得られることになる。

$$\varphi = C \left\{ \frac{\sinh \alpha}{\cosh \alpha - \cos \beta} - 1 \right\} \delta(t) + \sum_{m=1}^{\infty} D_m \phi_m(\alpha, \beta) \cosh \xi_m(z+H) \dot{U}_m(t) \quad (1)$$

ここに、 $\phi_m(\alpha, \beta)$ は双極座標 (α, β) の関数、 $\dot{U}_m(t)$ は時間の関数、 C は正極 O_b の y 座標値、 D_m は未定定数、 ξ_m は次式を満たす特性値である。

$$h^2 \left(\frac{\partial^2 \phi_m}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \phi_m}{\partial \beta^2} \right) + \xi_m^2 \phi_m = 0 \quad (2)$$

上式の境界条件は

$$\left. \frac{\partial \phi_m}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha_i} = 0, (i=1,2) \quad (3)$$

ここに、 $1/h$ は写像拡大率であり、 α_i は内・外槽の円周を表す。また、 $U_m(t)$ は地震波入力加速度を $\delta(t)$ とし、 ω_m 、 h_m をそれぞれ内溶液の固有円振動数及び減衰定数とすれば、それは次式のように表すことが出来て、 U_m が求められれば未定定数 D_m が定まることになる。

$$\ddot{U}_m + 2h_m \omega_m \dot{U}_m + \omega_m^2 U_m = - \frac{2}{g \cosh \xi_m H} \delta \quad (4)$$

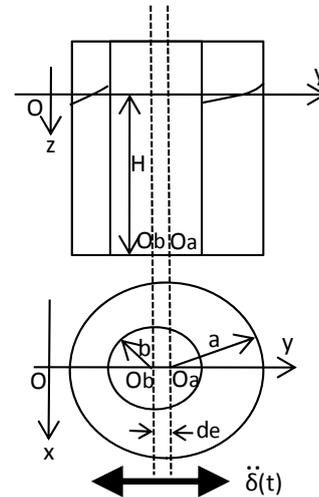


図-1 偏心二重円筒タンク及び座標系

さて、式(2),(3)を満たす ϕ_m の解析解を求めることは困難なので、本論ではそれを差分法を用いて求めることにした。 ϕ_m と ξ_m とが得られれば、内溶液の波高 η と動水圧 σ は、次式によって与えられる。

$$\eta = - \frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t}, (z=0) \quad (5)$$

$$\sigma = -\rho_w \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (6)$$

ここに、 ρ_w は内溶液の密度である。

3. 数値計算結果と実験結果との比較

実験に用いた二重円筒タンクは厚さ1cmの亚克力製で、内槽の外径が0.3m、外槽の内径が0.39m、高さが0.8mである。内溶液としては水を用い、水深は0.5mとした。これを図-2に示すように、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、内槽の偏心方向に加振し、加振方向のタンク壁面上の動水圧の時刻歴を計測した。このとき、原波形の最大加速度値619.2Galを50Galに、継続時間50秒をそれぞれ30,40,50秒の3通りに調整して、それらを振動台入力として採用した。実験は、図-2中の内槽を加振方向の左側(+)及び右側(-)にそれぞれ

0,1,2,3,4cm 移動させることによってタンク間の偏心距離を5通りに変えた場合について行った。計測位置は、図-2に示すように、内・外槽壁面上で、それぞれ0.1,0.3,0.5mの3箇所、合計9箇所である。

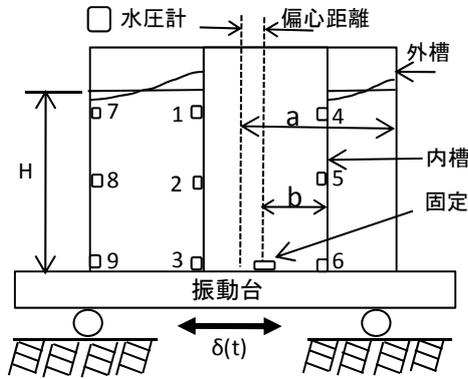


図-2 振動台上に設置された偏心二重円筒模型

応答計算結果の一例を図-3～5に示した。このときの入力地震波の継続時間はいずれも30秒である。また、偏心距離はそれぞれ+4cmと-4cm、計測点は1及び7で、いずれも水深が0.1mの壁面上である。さらに、いずれの場合も内溶液は内・外槽間のみを満たされており、その水深は50cmである。

図-3は内・外槽間隔が広い方の外槽内壁上における動水圧応答の時刻歴を示し、図-4と5は内・外槽間隔が狭い方の外槽内壁上及び内槽外壁上における動水圧の応答の時刻歴を示したものである。図においては、赤実線が理論値を、黒実線が実験値を表している。図を見て判断する限り、いずれの場合も理論値と実験値とは全体として比較的良好に一致していると云ってもよいであろう。

なお、応答のピーク値については両者の間に多少の差が生じているが、その原因の一つとして考えられるのは次のようなことである。すなわち、入力加速度の振動数の内、その高い成分に対しては振動台の能力の関係で、それらの成分を必ずしも忠実に再現することが出来ないのではないかと云うことが挙げられよう。その理由としては、次のようなことが挙げられる。すなわち、入力地震波の継続時間を20秒、30秒と短くしていった、それが高い振動成分をより多く含む場合について応答実験を試みた結果、振動台自体の加速度と入力加速度との間に次第に大きな差が生ずるようになり、前者の最大加

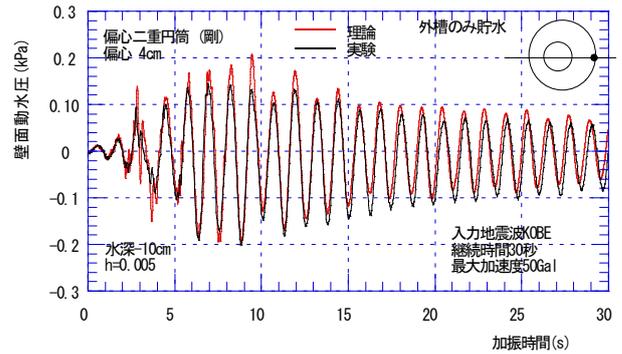


図-3 壁面動水圧の応答曲線 (外槽内壁面)

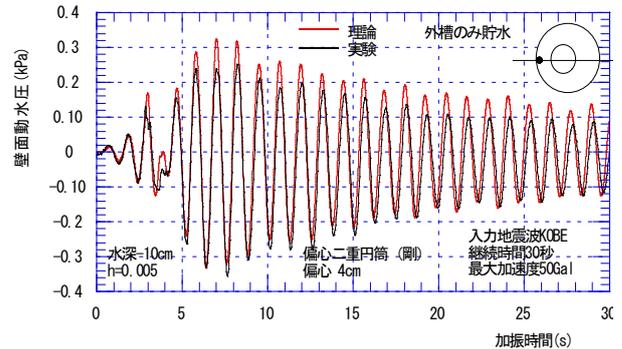


図-4 壁面動水圧の応答曲線 (外槽内壁面)

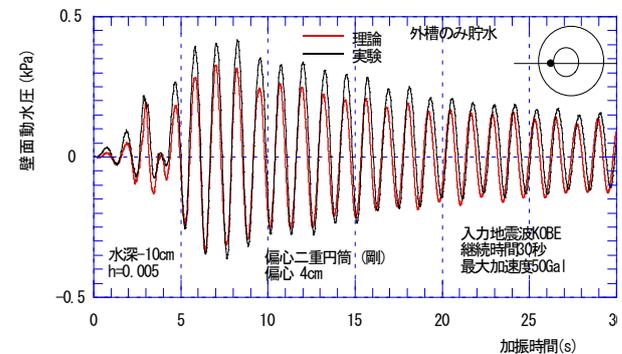


図-5 壁面動水圧の応答曲線 (内槽外壁面)

速度値は後者のそれに比べて小さくなるということを考慮することによってそのように判断したものである。

4. おわりに

結論として、上記のことから、著者らの導いた理論式は偏心二重円筒タンクが地震波のような不規則な入力を受けた場合についても、当該構造物の応答を算出するのに用いて有用であることが示されたといえよう。

1) 高西・水田・川口：水平加振を受ける偏心二重円筒タンク内溶液の動的挙動，構造工学論文集，Vol.49A,2003.3