

水平加振を受ける偏心二重円筒タンク内容液の動水圧応答

正会員 高西 照彦

九州産業大学工学部 正会員 水田 洋司

新日本製鐵 正会員 川口 周作

1. まえがき 著者等は前論¹⁾において、水平加振を受ける偏心二重円筒タンク内容液の動的解析法を示し、同時に、アクリル樹脂で作製した二重円筒タンク模型を振動台上に設置し、定常加振実験を行ってタンク壁面上の動水圧及び波高を計測した。理論式を用いて求めた数値計算結果と実験から得られた結果とを比較して、両者が良く一致することを確認することによって理論式の有用性を示した。本論は、実規模の偏心二重円筒タンクを対象として、それが水平加振を受けたとき、その内容液によって内槽及び外槽の壁面上に生ずる動水圧の値を、前論で導いた理論式を用いて算出し、得られた結果を単円筒タンク及び同心二重円筒タンクの場合の結果と対比することによって、偏心二重円筒タンクに対する壁面動水圧の動特性を明らかにすることを目的としている。

2. 数値解析について 考察の対象とした偏心二重円筒タンクの大きさは内槽半径 $a=5.44\text{m}$ 、外槽半径 $b=6.94\text{m}$ 、高さは 7.6m である。内容液は水であり、水深は内、外槽とも $H=5\text{m}$ である場合を取上げた。偏心二重円筒タンク内槽の偏心率は 0.66m 、従って偏心率は $e=0.44$ とした。加振は定常調和波加振とし、加振方向は偏心方向に並行である。また、加振加速度は 10Gal 、内容液の減衰定数は $h_w=0.03$ と仮定した。取扱う振動数の範囲は当該タンクの 1 次のスロッシング共振振動数 0.17Hz を含む $0\sim 1\text{Hz}$ とした。この振動数の範囲においてはタンクの側壁はすべて剛だとみなしてもよいであろう。偏心二重円筒タンクの壁面動水圧に関しては、①内槽の内側壁面上の動水圧については半径 5.44m の単円筒タンクとして解析し、②内槽の外側壁面と外槽の内側壁面上の動水圧については前論の理論を適用することによってそれぞれその値を求めることが出来る。同心二重円筒タンクについては文献 2) にその内容液の動的解析法が示されているので、それに従えばよい。

3. 数値計算結果及び考察 上記の 3 つの理論式を用いて、単円筒、同心二重円筒、偏心二重円筒タンクが水平方向の定常加振を受けたとき、その内容液の動揺振動によって生ずるタンクの内、外槽における壁面上の動水圧の共振曲線を求めた。得られた結果を図-2～5 に示す。

図-2 は偏心二重円筒タンク内槽の内、外側壁面上における動水圧の位相を示す共振曲線(減衰定数 0 の場合)である。同図から、それぞれ内槽タンク内容液の 1 次の共振点及び内槽タンクと外槽タンクとに囲まれた部分(以後、簡単のため外槽タンクと呼ぶ)の内容液の 1 次の共振点を境にして壁面上に働く動水圧の方向が逆方向に変化していることがわかる。したがって、内槽が受ける動水圧の大きさは加振振動数によって大きく異なることになり、外槽タンク内容液の 1 次の共振点より低い振動数では両側壁面上に働く動水圧の方向が同方向(同位相)となつてその値が大きくなり、加振振動数がそれより大きくなると動水圧の方向が互いに逆位相となつてその値が小さくなることになる。

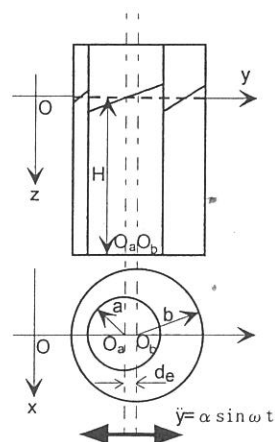


図-1 偏心二重円筒タンク

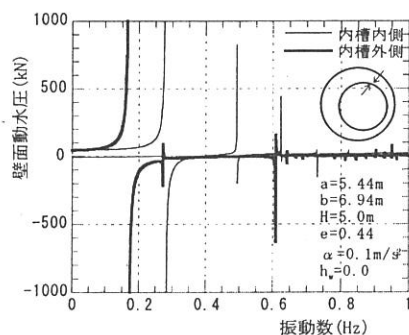


図-2 偏心二重円筒タンク内槽の内、外壁面上における動水圧の位相を示す共振曲線 (sine 成分)

これは、偏心二重円筒タンクの内槽壁の設計に際しては、それに働く動水圧が両壁面で同方向になって重畳される場合がある（通常の場合、両壁面上に働く静水圧は互いに逆方向であるから、内槽壁に加わる外力は釣合いを保っており、従って一方方向の外力は加わらない）ことを考慮する必要があることを示唆している。

図-3は、図-2における代表的な3つの加振振動数に対して、内槽の内、外側面上における加振方向の動水圧強度の分布を示したものである。図-2の説明で述べたように、加振振動数の違いによって両壁面上に働く動水圧強度の大きさと分布形状及びその方向がそれぞれ異なっていることがわかる。

図-4(a),(b)は、同心及び偏心二重円筒タンクの内槽に働く壁面動水圧の共振曲線を描いたもので、(a)は内槽の両壁面上に働く動水圧を、それぞれ内壁面と外壁面とに分けて示した場合、(b)は両者を

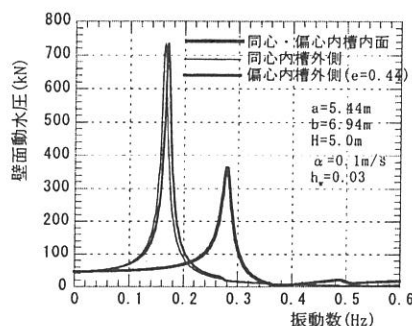


図-4(a) 同心及び偏心二重円筒タンク内槽の内、外壁面上における動水圧の共振曲線

合成して示した場合である。同図より、偏心率が0.44程度では、同心タンクと偏心タンクの場合を比べて見ても、その内槽の側壁面上に働く最大動水圧の大きさにはほとんど差がないことがわかる。ただ、共振振動数が僅かに異なるだけである。また、最大動水圧はその大部分が内槽の外側壁面上に働く動水圧からの寄与である。このように、内槽タンクと外槽タンクのスロッシングの1次の振動数が互いに近くないときには、内槽の側壁面上に働く動水圧は外槽タンクの共振点におけるそれによって支配されるが、内、外槽タンクの水深に差が生じて、両者のスロッシング1次の振動数が一致するような場合（内槽タンクの水深が浅い場合）には壁面動水圧の値が大きくなるので注意が必要である。

図-5は、同心及び偏心二重円筒タンク並びに外槽と同径の単円筒タンクに対して、外槽の側壁面上に働く動水圧の共振曲線を描いたものである。同図より、外槽タンクの壁面上に働く動水圧についても同心の場合と偏心の場合とで、その大きさにはほとんど差がないことがわかる。また、同心及び偏心二重円筒タンクとその外槽と半径の等しい単円筒タンクとの場合を比べてみると、壁面動水圧は前者の方がより大きな値になっている。このことは、偏心二重円筒タンクの設計に際して注意すべき点であると考えられる。

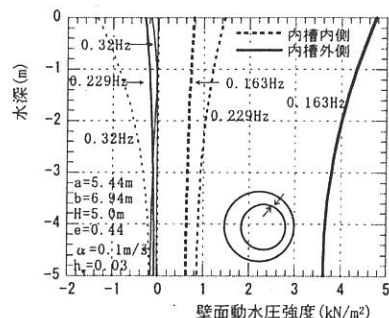


図-3 偏心二重円筒タンク内槽の内、外壁面上における動水圧強度分布 ($\theta=0$)

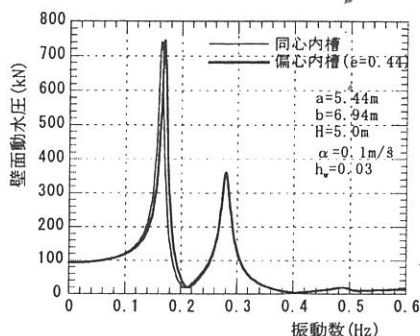


図-4(b) 同心及び偏心二重円筒タンク内槽に対する動水圧の共振曲線

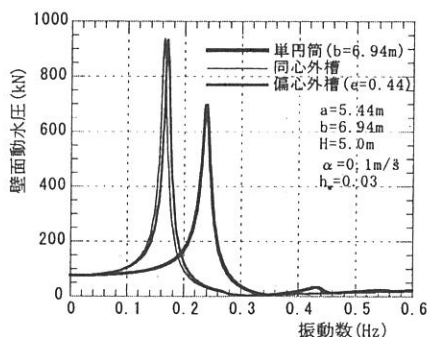


図-5 同心及び偏心二重円筒タンク外槽並びに単円筒タンク内壁上における動水圧の共振曲線

- 1) 高西・水田・川口：偏心二重円筒タンク内容液の水平振動解析，土木学会第57回年次学術講演会概要，2002.9.
- 2) Aslam et al：Earthquake sloshing in annular and cylindrical tanks, Proc. Am. Soc. Civil Eng., Vol.105, No. EM3, 1979.6.