

格子状に配置された円柱群への津波作用波圧に関する検討

鹿児島大学 工学部 学生会員 ○朝倉周
 鹿児島大学 工学部 学生会員 御領聡史
 鹿児島大学 技術部 非会員 種田哲也

鹿児島大学 工学部 学生会員 図師幸太郎
 鹿児島大学 技術部 非会員 井崎丈
 鹿児島大学 工学部 正会員 長山昭夫

1.はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震では、津波によって甚大な被害が発生した。また、沿岸部に多数立地している石油備蓄基地においてタンクの転倒や移動、タンク内のオイルの流出の被害が発生した¹⁾。一方タンクが被災すると周辺環境に甚大な影響を与えるため、津波がタンクに与える作用波圧についての論文は数多くある²⁾。しかしながら、既存文献の多くは単体のタンクを対象としたものがほとんどであり、複数のタンクが配列されている場合の津波による作用波圧特性に関しては未解明な点が多い。そこで本研究では、石油備蓄基地に設置されているタンクを想定し、円柱群を格子状に複数基配列し、津波が入射した場合のタンクへの作用波圧特性について検討を行った。

2.解析手法

2.1 解析モデルと解析領域

今回、数値モデルは OpenFOAM³⁾を使用した。このモデルは有限体積法を中心としたソルバ及びツール群で構成されている。このモデルの中で非圧縮・混相流(VOF)のソルバは interFoam の名称で実装されている。今回使用したソルバ Higura⁴⁾らが interFoam をベースに造波・境界条件を改良した olaFoam を使用した。今回使用した本解析領域を図-2に示す。サイズについては図のようにX軸方向(岸沖方向)3m、Y軸方向(沿岸方向)0.3m、Z軸方向(鉛直方向)を0.66mとした。格子サイズは、 $\Delta X=0.00027m$, $\Delta Y=0.00013m$, $\Delta Z=0.00530m$ である。平面ステージ上にタンクを模した円柱群を設置し、沖から波を入射させる条件を想定している。最終的な非構造格子数は、2,362,732個である。平面ステージ上にタンクを模した円柱群を設置し、沖から波を入射させる条件を想定しており、タンクを模した円柱寸法は、直径 $D=0.05m$ 、高さ $H=0.05m$ とした。今回は図-3に示すように4本の円柱を格子状に配置した。また図-3に示すように円柱の側面の名称について、各円柱の沖側側面の接点部を前面、その反対側面を背面、岸沖方向からみた各円柱の右側側面を右面、その反対側面を左面と称して検討を行った。

2.2 解析条件

表-1に入射波条件を示す。造波条件はクノイダル波とし、周期は3sとした。入射波高0.05m(Case1)、0.04m(Case2)、0.03m(Case3)の3通りにし検討を行った。今回、各円柱前面での無次元水位変動、無次元波圧変動と最大波圧についての検討を行った。またこれらの無次元化については、津波が円柱に衝突する前の平面ステージ上の水位変動と流速を4箇所で測定し、比エネルギーEが最大時の水位を h_0 と定義した。

3.結果

まず各円柱前面での無次元水位変動について検討を行った(図-4)。この図から、前列の円柱前面で



図-1 石油タンクの被害状況

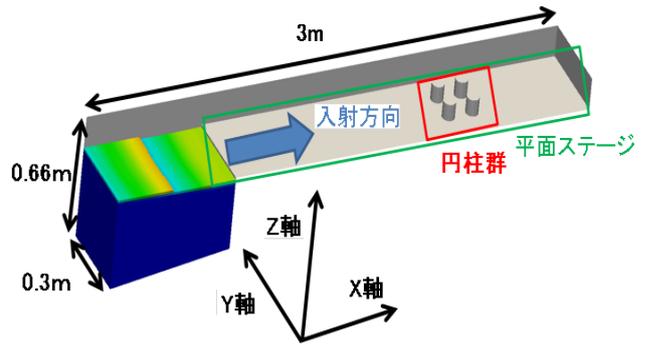


図-2 解析ケース

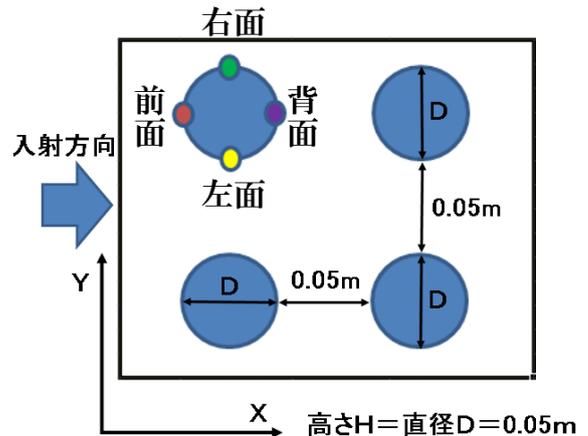


図-3 円柱の寸法と配置条件と箇所の定義

表-1 入射波の条件

Theory	cnoidal
Period(s)	3
Height(m)	0.05(Case1),0.04(Case2),0.03(Case3)

の水位変動は各 Case において平面ステージ上の水位 h_0 に対して5倍程度の水位変動となることがわかる。これは今回設定した津波の波高が円柱高に対して大きいため、設定した条件下においては前列の円柱の高さを超えるか同程度の水位上昇になったことが影響していることが想定される。また、後列の円柱の前面に対しては、 h_0 に対して最大で2倍程度の水位変動が確認された。これにより後列の円柱は前列の円柱があることで、水位変動が前列円柱前面に対して約半分程度になることがわかった。

次に各円柱前面における無次元波圧変動について検討を行った。その結果を図-5 に示す。この図は各円柱前面に作用する波圧 p を水位 h_0 による静水圧 $\rho g h_0$ で除している。前列の円柱前面に作用する無次元波圧は最大で 4.8 倍から 6 倍程度になることがわかった。さらに入射波高が低い方が、無次元波圧の最大点が高くなる結果となったが、これは平面ステージ上を遡上する水位 h_0 が波の入射条件により変化するため、入射波高が小さいケースにおいて h_0 が小さくなった影響であることがわかる。次に、後列の円柱前面については、入射波高の大きい Case1 が Case2 と Case3 とは異なる変動を示すことがわかる。Case1 では 3 倍程度の無次元波圧が作用するが、他の Case では 2 倍程度となる。

図-6 は各円柱側面における無次元最大波圧分布を示す。この図より、前列円柱の前面においては 6 倍程度の波圧が作用していること、作用波圧は前面が最も高く、右面・左面に向かって減少するが、背面においては作用波圧が再び上昇することが確認できた。これは、後列の円柱の存在が影響していることが想定される。一方、後列の円柱の側面については、基本的に前列円柱よりも波圧が同程度かもしくは小さい傾向にあるが、前面と右面・左面の中間位置においては、後列円柱の方が大きな波圧が生じていることがわかる。

この結果を考察するために、Case1 において、後列円柱に衝突する直前の遡上津波先端部を図-7 に示す。この図は、各セルの液相比率が 0.5 を表示した水表面であり、これを遡上津波先端部と仮定する。この図から、津波先端部は前列円柱に衝突後、移動が妨げられるため、後列円柱に衝突する津波先端部は、前列円柱から回り込んで衝突することがわかった。つまり入射波の大きさ次第では、後列円柱側面に、前列円柱側面よりも大きな波圧が生じる可能性があることを示唆している。

4.まとめ

- 1)各円柱前面での無次元水位変動について、入射波条件に関係なく前列の円柱の存在により後列円柱における水位変動が半分になることがわかった。
- 2)円柱前面での無次元波圧変動について、前列円柱での作用波圧は最大で 5-6 倍であり、今回の条件下では入射波高が小さいと大きくなるといった傾向になった。
- 3)円柱周りの無次元最大波圧分布においては、後列円柱において、前面と右面・左面の間において、前列よりも大きな波圧が作用する現象が確認され、これは前列円柱の存在により津波先端部が回り込んで衝突することが影響していることがわかった。

参考文献

- 1) 盛岡タイムス Web News, <http://www.morioka-times.com/news/2011/1104/01/11040107.htm>
- 2) 榊山勉 : 津波遡上流によるタンクに作用する流体力に関する研究
- 3) 一般社団法人オープン CAE 学会 : OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, 2016
- 4) Pablo Higuera : Three-dimensional interaction of waves and porous coastal structures using OpenFOAM, 201

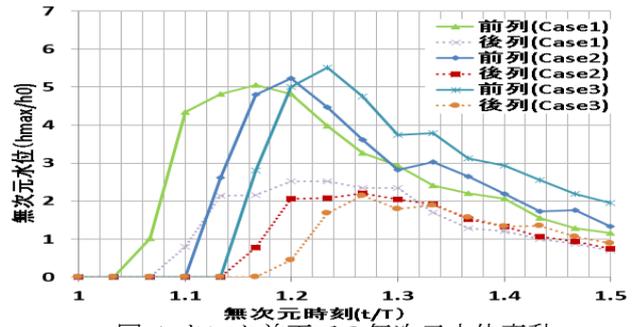


図-4 タンク前面での無次元水位変動

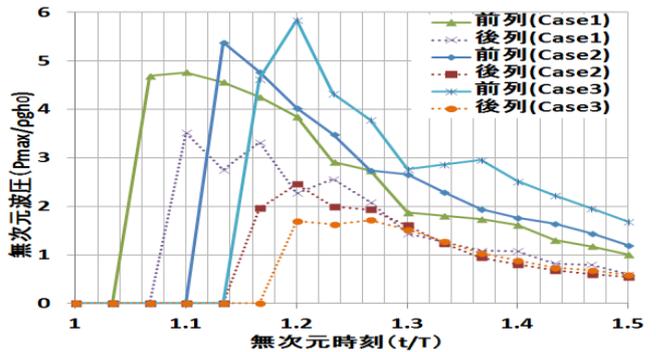


図-5 タンク前面での無次元波圧変動

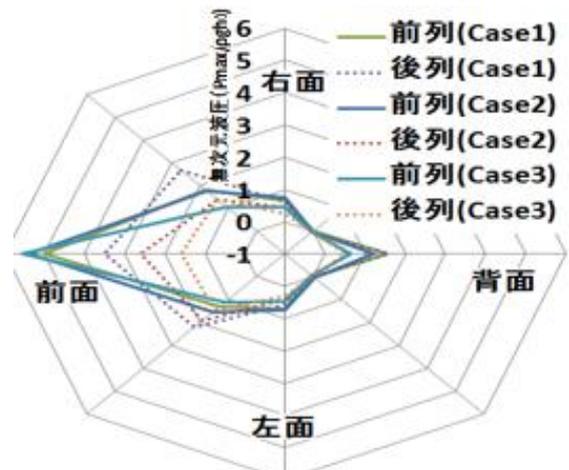


図-6 円柱周りの無次元最大波圧分布

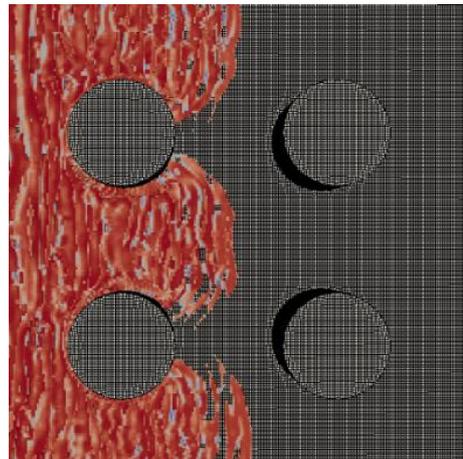


図-7 遡上津波先端部の後列タンクへの衝突