

格子配列タンク群における後方タンクへの作用波圧に関する検討

鹿児島大学 工学部 学生会員 ○末吉遼大
鹿児島大学院 理工学研究科 学生会員 田中友崇

鹿児島大学 工学部 学生会員 坂口凌雅
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により発生した遡上津波は沿岸域の大型構造物を破壊し、その範囲は千葉県富津市まで及んだ。遡上津波による構造物への作用波圧に関する研究¹⁾はこれまで数多くなされているが、その多くが単体構造物への作用波圧に関連したものであり、構造物が規則的に配置された場合を想定した検討は多くはない。また 2011 年東北地方太平洋沖地震では、密集した構造物群に遡上津波が作用した場合、内陸側構造物の破壊が沿岸側構造物よりも大きかったとの報告²⁾もある。そこで本研究は、石油備蓄基地内に規則的に配置されている石油タンク群を想定し、格子配列条件がタンクへの作用波圧に与える影響について後列タンクに的を絞り検討を行った。

2. 解析手法

2-1 解析モデル

今回、数値計算には OpenFOAM を使用した。このモデルは C++言語の流体解析ライブラリである。非圧縮性流体の混相流計算には VOF 法が使用され interFoam の名称で実装されている。本報では interFoam に境界での造波と反射波吸収の機能を追加した olaFoam³⁾を使用した。

2-2 解析条件

図-1 に計算領域(赤線枠内)と初期水位(青線、青塗)を示す。また造波波形を左側境界から発生させる。図中のオレンジ色の丸印が石油タンクを想定した円柱を示している。今回は、喜入石油備蓄基地の石油タンクを想定したので、円柱は直径 $D=0.1\text{m}$ 、高さ $H=0.05\text{m}$ (直径:高さ=2:1)とした。次に表-1 に、円柱の配置間隔を示す。配置は格子状とした。また、case2 の間隔は円柱直径 D と等しくし、case1 は直径 D の半分 ($0.5D$)、case3 は直径 D の 2 倍 ($2.0D$) とした。

図-2 に波圧測定位置を示す。波は図中の左側境界から入射するので、沖側のタンクを前列タンク 1 と 2、岸側のタンクを後列タンク 3 と 4 と称し、今回はタンク 4 を対象とした。また波圧測定位置はタンク 4 側面の最も沖側の位置を p1 とし、タンク前面については p1 から岸方向に 10 度ずつ変化させ p1~p9 とした。またタンク背面の最も岸側の位置を p22 とし、そこから 45 度ずつ変化させた p18~p22 とし計 14 箇所を波圧測定点とした。

2-3 計算の妥当性の検討

まず計算結果の妥当性の検討を行うため、水理模型実験を行った。今回は、造波境界での水位変動と流速

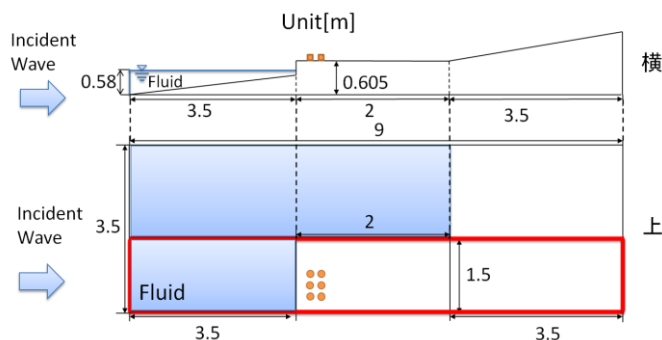


図-1 計算領域と初期水位

表-1 円柱の設置間隔

	$Dx [\text{m}]$	$Dy [\text{m}]$
case1	0.05	0.05
case2	0.1	0.1
case3	0.2	0.2

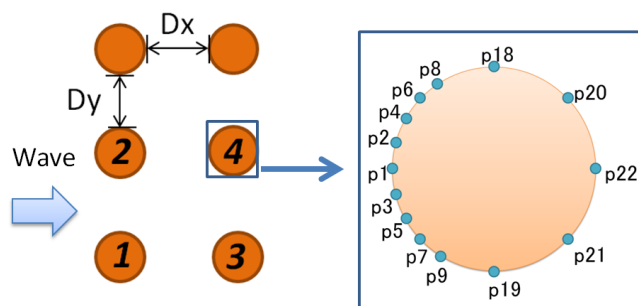


図-2 波圧測定位置

を比較した後、タンク 1 から 4 に作用する波力の再現について検討し、計算結果が妥当であることを確認した。

3. 解析結果

これまでの研究において格子配置された円柱群に津波が作用した場合、後列円柱に作用する波力は、設置間隔が狭い場合に小さくなり、設置間隔が広いと大きくなるがわかっている。

図-3 に前列タンクのタンク 2 に作用する波圧を示す。この図より、沖側前面の p1 から p9 の各位置において津波先端部がタンクに衝突することで生じる衝撃波圧と、水位が準定常状態になることで発生する持続波圧が確認できる。さらに各点によって段階的に波圧が変動していることがわかる。一方、沖側からみて背面となる p18 から p22 においては、波圧の特性が異なり持

続波圧のみが確認できる。さらに最岸側の点 p22 では波圧の上昇が大きく前面とほぼ同値となることがわかる。

図-4 に case2(1.0D)でのタンク 4 に作用する波圧を示す。タンク前面 p1~p9 まで作用する波圧は、前列タンク 2 よりも大きく最大で約 1.6 倍大きくなった。また測定位置により段階的に変動する傾向にはなく、前面各点に同程度の波圧が作用している。これは前面タンクが p1 に波先端部が衝突するのにに対し後列タンクは、p1 以外の部分に波先端部が衝突した後に側面に広がるためだと考えられる。また p9 以降の背面に作用する波圧は、前列タンク 2 の背面と比較して、作用波圧が大きくなることがわかり、波圧発生初期には負圧が発生する結果となった。また波力ではなく波圧の観点から考察すると、今回の設定条件では後列タンク前面での最大波圧は前列タンクと比較して同程度かそれ以上になる結果となった。

次に図-5 に case1(0.5D)におけるタンク 4 に作用する波圧を示す。タンク前面 p1~p9 に作用する波圧の変動特性は case2 とほぼ同じであるが、タンク前面 p1~p9 に作用する波圧の最大値は、後列タンク 2 の各点よりも最大で約 0.8 倍小さくなった。一方、背面に作用する波圧は、case2 の場合と比べ作用波圧が大きくなる結果となる。これは設置間隔が狭いことで前面における水位が低く背面における水位が大きくなるためであると考えられる。

最後に図-6 で case3(2.0D)におけるタンク 4 に作用する波圧を示す。前面における作用波圧は、他の場合と比べ、前列タンクと同様に段階的に波圧が変動する。これは設置間隔が広がることで前列円柱の波の遮蔽効果が小さくなるためであることが想定される。さらに背面においては作用波圧初期に負圧が生じ、他の条件よりも大きな負圧が発生していることがわかる。

4. まとめ

- 1) 後列タンク 4 の前面に作用する波圧は、前列のタンク 2 の前面に比べ最大で 1.6 倍大きくなる。
- 2) 間隔が広がる場合、後列タンク前面には前列タンクによる遮蔽効果が小さくなり、前列タンク前面と同様に段階的な波圧変動が生じる。
- 3) 後列タンク背面においては間隔が狭い場合、作用波圧が大きくなり、間隔が 1.0D より広がると作用波圧初期において負圧が作用する。

5. 今後の検討

今回の格子間隔は現実の石油備蓄基地の平均的な間隔を再現した。今後は造波波形と格子間隔の関係について検討したい。さらにタンク直径と高さの比が作用波圧に与える影響についても検討したい。

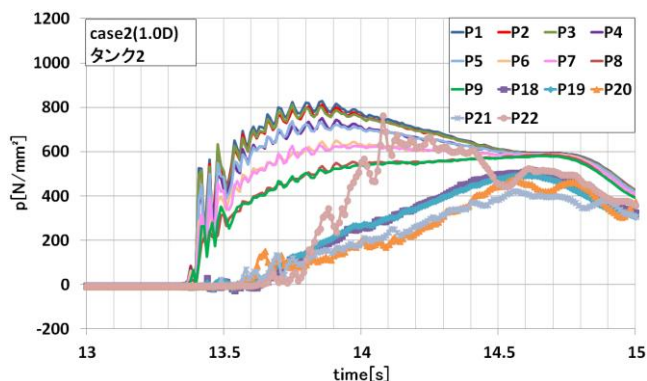


図-3 case2 におけるタンク 2 に作用する波圧

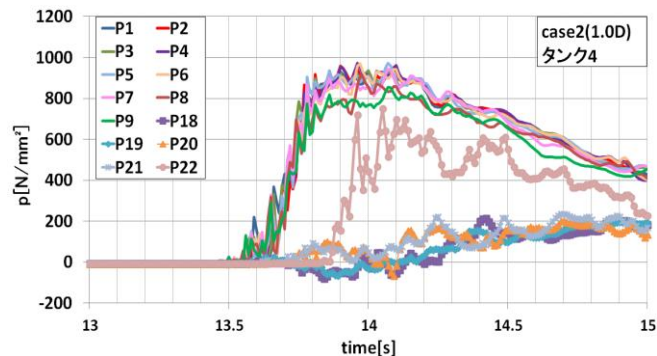


図-4 case2 におけるタンク 4 に作用する波圧

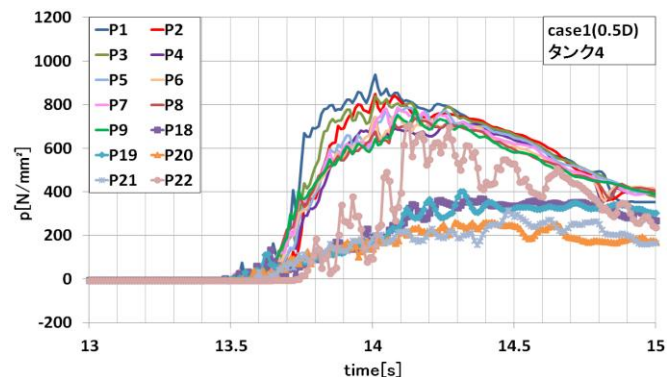


図-5 case1 におけるタンク 4 に作用する波圧

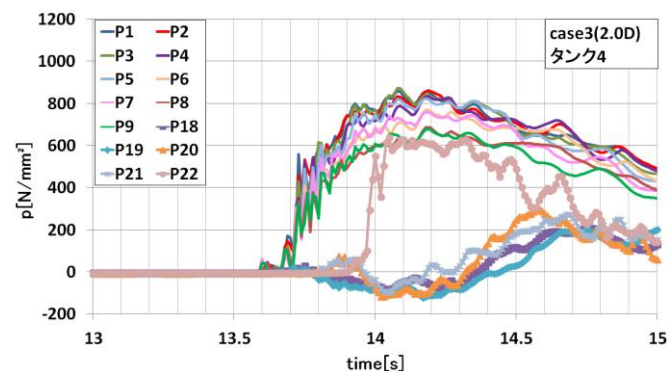


図-6 case3 におけるタンク 4 に作用する波圧

参考文献

- 1) 榊山勉・松山昌史・松浦真一・河島宏治・佐野正和 (2007): 石油タンクに作用する津波波力と津波波圧に対する座屈解析, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp836-840
- 2) 陸好宏史・岡野素之・岩城一郎・内藤英樹 (2012): 東北地方太平洋沖地震被害調査報告(土木構造物), Vol.50, No.1, pp.13-18
- 3) <https://github.com/phicau/OLAFOAM>, 20180109 現在