

規則的に配列されたタンク群に作用する津波波力に関する水理模型実験

鹿児島大学 工学部 学生会員 ○坂口凌雅
 鹿児島大学 工学部 学生会員 末吉遼大

鹿児島大学 工学部 学生会員 田中友崇
 鹿児島大学 技術部 正会員 井崎丈
 鹿児島大学 工学部 正会員 長山昭夫

1. 研究背景・目的

2011 年の東北太平洋沖地震では、大型構造物が密集した沿岸域をはじめと基大な被害を受けた。また、南海トラフ巨大地震被害予測では、巨大津波が襲来する事が想定されており、沿岸域の石油タンク群等の構造物は遡上津波によって被災することが想定されている。石油備蓄基地のように構造物が密集した施設における構造物群に作用する津波波力は、構造物の設置条件に大きく影響を受けることが考えられる。そこで本研究は、実際の屋外タンク群は格子配列または千鳥配列である点に着目し、タンクの配置条件がタンク群へ作用する最大波力に与える影響と、避難ビル等の津波耐力設計に使用される無次元水位 α と Fr 数の関係について水理模型実験により検討した。

2. 模型実験

2-1. 模型実験概要

鹿児島大学が保有するプランジャー式造波装置付き平面波動水槽を図 1 に示す。この水槽の岸側斜面上の平面ステージ上に実際の石油備蓄基地を想定した 1/100 スケールの構造物模型を 6 つ設置した。また格子・千鳥配列それぞれ 3case の配置条件を設定した。各 case において、波力とタンク間の水位変動を 3 分力計、容量式波高計を用いて計測を行い、タンクへの津波波力がタンクの配置条件から受ける影響を検討した。

2-2. 実験条件

岸側斜面位置における入射波条件を図 2 に示す。プランジャー式造波装置を使用するため波が分散していることがわかる。また平面ステージ上には防油堤は想定せず、タンク模型を 6 つ設置した。タンクの配置条件を図 3 に示す。case1~case3 は格子配列である。タンク直径 D (0.10m) を基準とし、0.5D、1.0D、2.0D と格子間隔を変化させた。case4~case6 は千鳥配列である。岸沖方向・沿岸方向のタンク間隔は 1.0D とし、前列タンク A・B 間の中央に後列タンク C の中心が来るように配置したものを case4 とした。case4 を基本として、0.5D、1.0D と、間隔を固定した状態で後列タンクを沿岸方向に移動させた。格子配列の場合はタンク A~D、千鳥配列の場合は後列タンク C・D に作用する津波波力の計測を行った。また、格子配列については各タンク間の水位変動を計測し、波力の作用位置を計測結果から導き、既往研究と比較した。千鳥配列では、比較対象として、タンクの岸沖方向、沿岸方向の間隔が等しい case2 の後列タンク C・D を加えて検討を行った。基本的に各 case と平均的なデータが 3 つ以上取得できるまで継続し計測を行い、得られたデータの平均値を計測データに採用した。

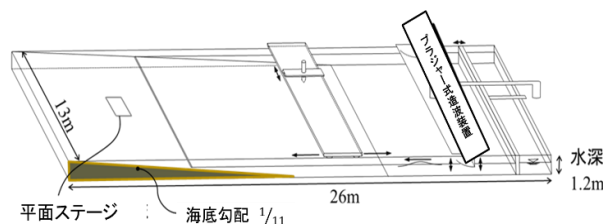


図 1 平面波動水槽

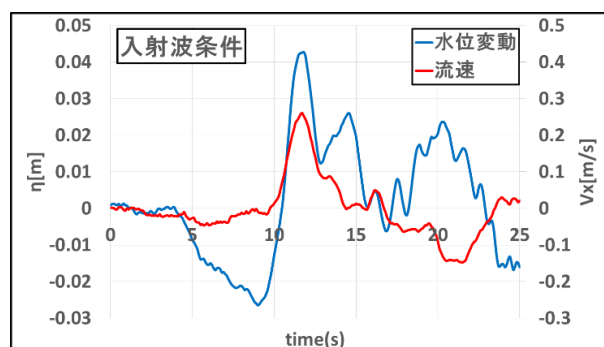


図 2 入射波条件

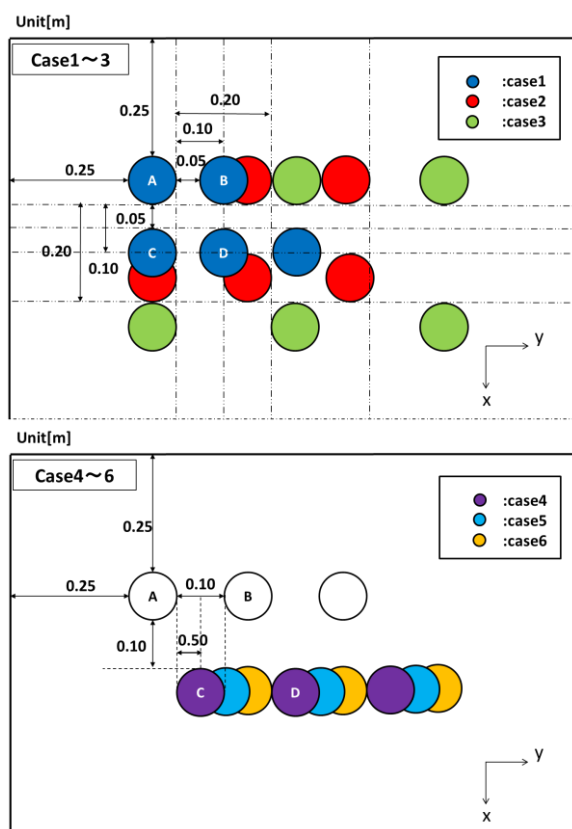


図 3 配置条件

3. 実験結果・考察

3-1. 格子配列のタンク群へ作用する津波波力

格子配列 case1~3 における各タンクに作用する津波波力の測定結果を図 4 に示す。図の縦軸は最大波力を表しており各タンクに作用する津波波力の最大値を比較した。前列タンク A・B に着目すると間隔が最も狭い case1 で津波波力は最も大きくなり格子間隔が広がるほど小さくなる傾向がある。格子間隔が狭くなると隣接するタンクからの反射波の影響を受けやすくなるためこのような結果が得られたと考えられる。後列タンク C は間隔が広がるほど作用波力が大きくなる傾向がみられるが、後列タンク D は case2 で最大となっており、前列タンクと同様の傾向はみられなかった。

次に後列タンクへの作用波力の減少率に着目すると、表 1 に示すようにタンクの設置間隔の最も狭い case1 で約 54%、間隔が大きい case3 では約 32% となった。これによりタンクの間隔が広いほど減少率が小さくなることわかる。これは間隔が広いほど前列タンクの波の遮蔽効果が小さくなり、タンク間に多くの水が遡上してくることで波力が上昇するためだと考えられる。

既往研究による波力の作用位置に関する算定式と本研究の実験結果を比較したものを図 5 に示す。縦軸 α はタンク間の水位変動を構造物がない条件における同位置の水位変動で除して無次元化した。横軸は比エネルギーが最大となるとき Fr 数であり、データ整理方法は既往文献を参考に実施した。まず図中白抜き印の前列タンクに着目すると、 Fr 数は 1.0 付近に集中しており、各算定式によって囲まれた領域内に α が一定程度存在していることがわかる。対して、図中黒塗り印の後列タンクは、 Fr 数のばらつきが大きく各算定式によって囲まれた領域外に多くの点が存在する。これは既往文献が、単体構造物のみを扱っていること、造波条件や模型スケールが異なることが影響していることが考えられる。しかし、後列タンクのみがこのような結果となったため、格子状配列という条件が影響を与えている可能性が高い。

3-2. 千鳥配列のタンク群へ作用する津波波力

千鳥配列 case4~6 における後列タンクに作用する津波波力の測定結果を図 6 に示す。図 4 と同様、縦軸はタンクに作用する最大波力を表しており、比較のため岸沖・沿岸方向の間隔が等しい格子配列 (case2) の後列タンクを加えた。この図よりタンク C に比べタンク D に作用する津波波力が大きいことがわかる。これはタンク D の両側にタンクが存在しているのに対し、タンク C は片側のみにタンクが存在しているためであり、今回の実験条件の場合、両端にタンクが存在する場合は片側のみにタンクがある場合に比べ 3 割程度波力が上昇する結果となり、規則的に配置されたタンクへの作用波力が配置条件の影響を受けていることが明らかになった。波力はタンク C・D とともに case4 で最大となっており、case2 (格子配列) の同位置のタンクと比較すると、最大で約 1.3 倍の波力を計測した。千鳥配列の場合は前列タンクの波の遮蔽効果が小さくなることわかる。また case4 の後列タンクは沖側からみた場合、前列タンク間の中央に位置するため前列タンクの波の遮蔽効果が他の case よりも低くなったと考えられる。

4. まとめ

- 1) 格子状配列の場合、格子間隔が狭いほど前列タンクに作用する津波波力が大きくなり、後列タンクに作用する津波波力はより低減される。
- 2) タンク周囲の無次元水位 α は前列タンクの場合、既往の算定式の範囲内にある程度存在したが、後列タンクの場合は範囲外に多く存在する結果となった。
- 3) 千鳥配列の場合、後列タンクには格子配列の後列タンクに比べ最大で約 1.3 倍の津波波力が作用する。

5. 今後の検討

実験の規模を見直し、複数の入射波条件の下で実験を行い規則的に配置された構造物に作用する津波波力と配置条件の関係について検討を行う。

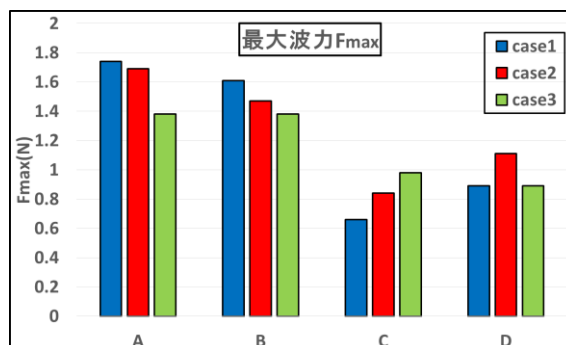


図 4 最大波力 (格子配列)

表 1 最大波力と後列タンクの減少率

	前列 [N]	後列 [N]	減少率 [%]
case1	1.67	0.77	53.73
case2	1.58	0.97	38.29
case3	1.38	0.93	32.24

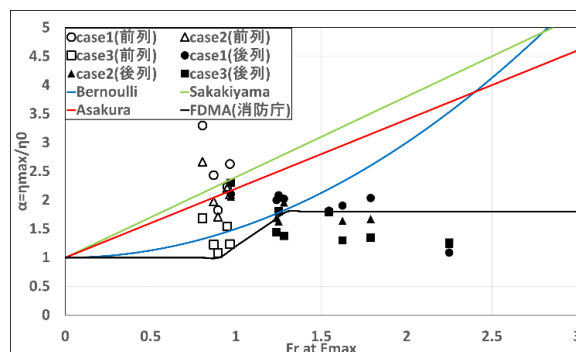


図 5 タンク間の無次元水位と Fr 数の関係

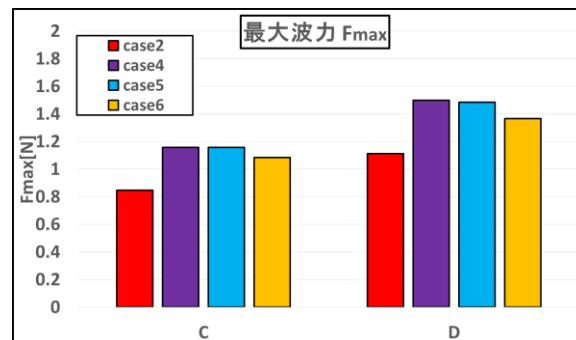


図 6 最大波力 (千鳥配列)