

大阪大学 大学院工学研究科 学生会員 ○國松 航・古瀬 智博・西山 真司  
大阪大学 大学院工学研究科 正会員 青木 伸一・荒木 進歩  
東洋建設 鳴尾研究所 正会員 小竹 康夫

## 1. 研究の背景と目的

2011年東北地方太平洋沖地震では、石油や高圧ガスを扱う施設が大きな被害を受けた。被災原因として様々な要因が考えられるが遡上した津波による施設の損壊は主要因の1つであった。その被害の特徴としては、津波により被害が施設全体に及んでいること、主に被害を受けているのは屋外貯蔵タンクであることが挙げられる。石油や高圧ガスを貯蔵する施設が多く集積している地域は、石油コンビナート等災害防止法により特別防災区域として指定されており、これらに該当する区域のほとんどが沿岸地域である。今後予想される南海トラフ地震などにより発生した津波によってこの区域が災害を受けることは、周辺住民の生命を脅かし、また生産施設の機能が停止することになり、社会への多大なる悪影響を及ぼすことになるため、あらゆる対策を講じておく必要がある。東北地方太平洋沖地震後、遡上津波による陸上構造物に及ぼす流体力に関する研究が数多くなされているが、港湾域に位置するコンビナート関連施設に関する研究はあまり実施されていない。また、流体力の算定には護岸前面の津波水位（波高）を用いて波力を算出するケースが多いが、港湾内では津波が複雑な挙動を示し、護岸前面の水位を入力条件として与えるのは難しい。本研究では、港湾内に位置するコンビナート用地内の単体タンクに作用する波力特性を明らかにするために、平面水槽を用いて実験を行った。

## 2. 水理模型実験

東洋建設鳴尾研究所の平面津波造波水槽にて模型実験を行った。平面水槽および港湾の概略を図1に示す。この水槽は横19m、縦30mで、ピストン型（ストローク1.5メートル）の造波装置を備えており、津波を模擬した波の造波が可能である。想定した模型縮尺は100分の1である。コンビナート用地（タンク設置用地）は横2.9m、縦2.1mであり、計測点となる15箇所にタンク模型を取り付ける穴が開けてある。図2のように計測点を1-1~5-3と名付ける。円筒タンクを1-1・2-1・2-3・3-2・4-1・4-3に、パイプラインを5-1・5-3に設置しこの8点を波力計測点とした。

波高計3台、電磁流速計2台を用い、波高計の1つは沖（造波機前）に固定し、残り2台は流速計2台とともに用地上の水位変化・流速を測定するために用いた。模型は、直径15cm、高さ10cmの円筒タンクと直径2cm、長さ40cmのパイプラインを用いた。また波力測定の対象とはしないが、高さ1cmの防油壁をタンクを囲むように設置した。造波ケースは、(1)沖の最大水位上昇量が6.9cmのL2津波、(2)沖の最大水位上昇量が9.7cmの想定最大津波、および(3)想定最大津波を3波連続作用させたもの、の3ケースである。

実験は構造物・防油壁なしで15点の流速・水位変化をまず測定し、次に防油壁を設置して8点（波力計測点）の流速・水位変化を測定した。最後に、波力計測点8点に円筒タンクを設置して波力測定を行った。サンプリング周期は、流速・水位については20ms、流体力については1msとした。各波2回ずつ造波・計測を行い、沖での水位変化を毎回測定することで各ケースの時間を同期した。

## 3. 実験結果

まず、水平最大波力と水位変化・流速の対応関係をみると、L2津波では、水平波力のピーク発生時刻は、水位・流速のピーク発生時刻と異なっており、流速・水平波力・水位の順にピークを取っていた。波力のピークは、ある程度浸水深があり多方向からの反射波がタンクに作用した時間帯に発生していた。

一方、想定最大津波・想定最大津波3連続のケースでは、水平波力のピークは流速のピークと一致しており、

第一波の作用時に水平波力が最大値を示していた。また、鉛直波力に関しては、どの点でも水位と同じ挙動を示していた。

以下に計測した諸量の時間波形を示すが、時間の原点は沖の計測点で一波目の水位がピークを示す時刻を 0 としている。図 3, 4 は 4-1 点での L2 津波(図 3)と想定最大津波 3 連続(図 4)での水平波力を流速データに基づく抗力と慣性力の和と比較して示したものである。また、図 5 は 4-3 点の想定最大津波 3 連続での鉛直波力を水位から計算した浮力と比較したものである。ただし、抗力、慣性力、浮力の算出は、タンクを置かない状態での水位・流速を用いている。今回行った実地形を模擬した地形で起こる津波に関しては、L2 津波では慣性力が抗力と同程度の値となっており、想定最大津波でも抗力が卓越してはいるものの、慣性力も無視できない程度であることがわかった。図より計測した水平波力と抗力+慣性力の値を比較すると、想定最大津波の第 1 波の衝撃的な力を除くと、抗力と慣性力との和で波力のピーク発生時刻など変動をある程度再現できていると言える。一方、鉛直波力に関しては、ほとんどの点で浸水深を用いた計算浮力の方が大きく変動し、過大評価となることがわかった。したがって、鉛直力の予測については、浸水深の補正が必要であることがわかった。

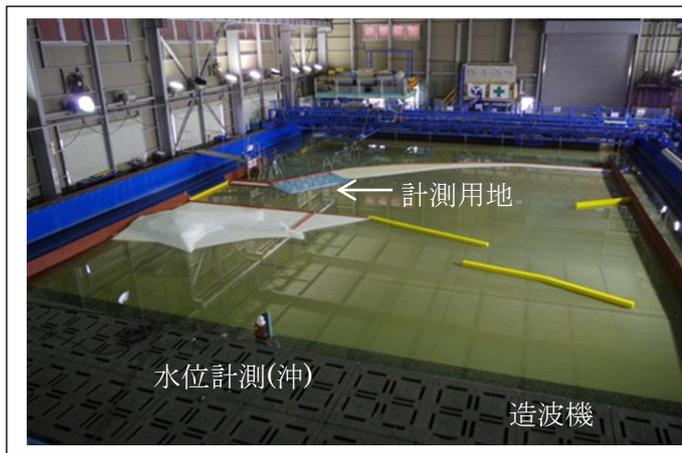


図 1 水槽全体写真

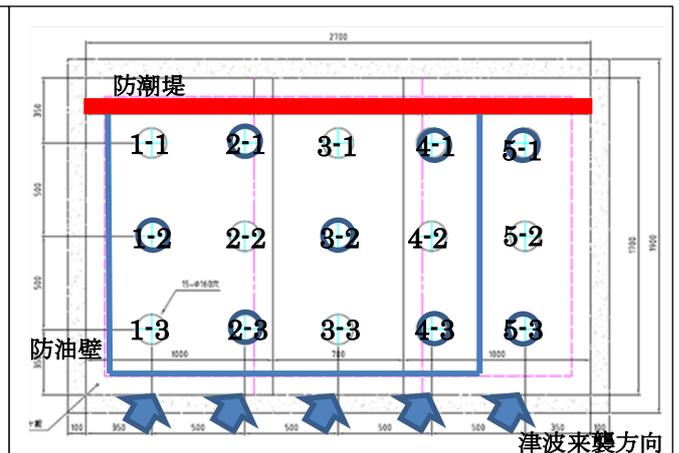


図 2 計測用地平面 ○: 波力計測点

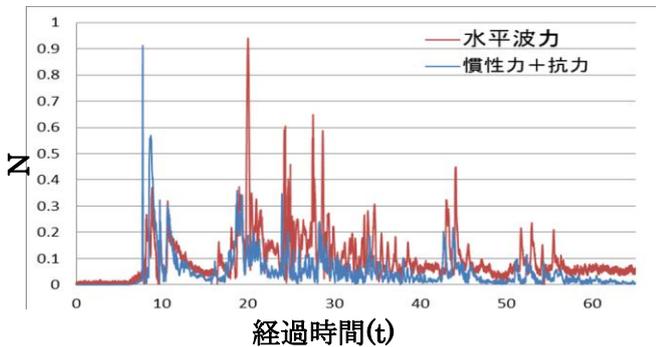


図 3 水平波力と抗力+慣性力の比較(4-1・L2 津波)

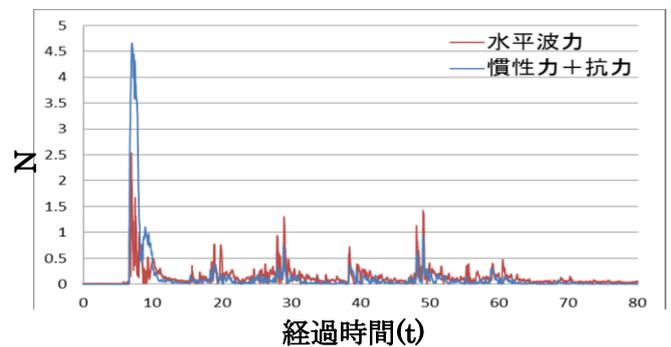


図 4 水平波力と抗力+慣性力の比較  
(4-1・想定最大津波 3 連続)

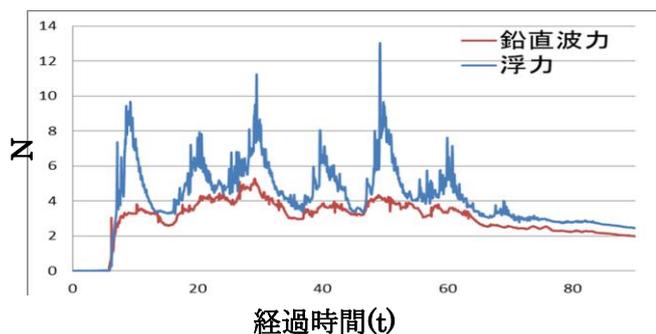


図 5 鉛直波力と浮力の比較  
(4-3・想定最大津波 3 連続)