

第Ⅱ部門

数値計算を用いた円筒形タンクに作用する鉛直方向津波流体力に関する一考察

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○榊原圭佑
大阪大学大学院工学研究科 正会員 荒木進歩

1. 研究の背景と目的

エネルギー貯蔵タンクの多くはコンビナート等の沿岸地域に設置されており、その形状は円筒型のものが多い。東日本大震災では地震に伴って発生した津波が太平洋沿岸部を襲い、多くのタンクが破損、転倒、流出等の被害を受けた。また、近い将来発生するとされている南海トラフ地震でも同様に津波被害が予想されており、今後の対策を進めていくためにもタンクに作用する津波流体力を適切に評価することは急務である。本研究では円筒タンクに作用する津波流体力のうち鉛直方向に作用する波力の特性を明らかにすることを目的として数値シミュレーションを行った。

2. 数値シミュレーション

本研究では、大阪大学2次元水路(長さ44m, 幅0.7m)で実施された水理模型実験を、3次元数値波動水槽(CADMAS-SURF/3D)を用いて再現し、津波が円筒タンクに作用する際のタンク周囲の水位分布、タンク底部の流速・圧力を算出することで、円筒タンクに津波が作用する際の鉛直方向の波力特性を解明することを目的としている。

図-1に数値シミュレーションの計算領域を示す。

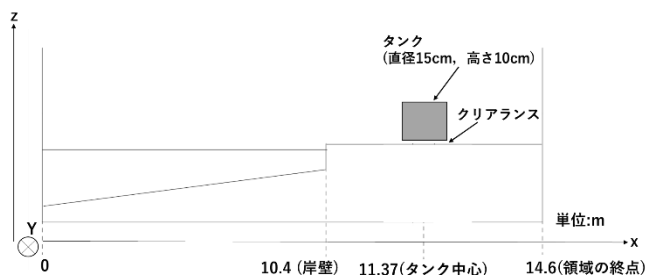


図-1 数値シミュレーションの計算領域

今回の計算領域は実験水槽全域を表現したものではない。これは、(i)計算負荷の軽減のため、(ii)造波に水理模型実験で得られた水位の時系列データを入力することで、同様の波をシミュレーション内に発生させる方法を用いているが、その手法では造波位置が領

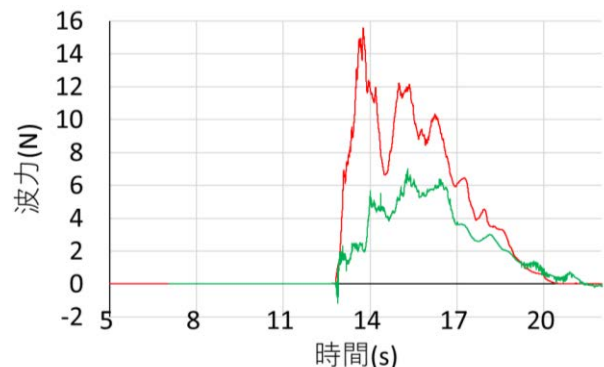
域端部のみに限定されるので、実験で水位を測定した地点と計算領域の始点を合わせるため、の2つの理由からなるものである。

本研究では計算の安定性を重視し、タンク底面と貯蔵用地の間のクリアランスを実際の大きさ6.5mmから15mmに変更して計算を行っている。また、計算領域両端部への減衰領域の設置、および乱流モデルの適用は行っていない。タンクの底面を描写するために1cm四方の正方形を用いて円形を再現している。タンク周囲の水位分布はタンクの左右で対称になると考え、波の進行方向に対して、 0° から 180° まで 15° 毎に算出している。流速と圧力については、タンク底面の描写をしている格子に隣接する点全てにおいて算出している。

3. 計算結果

疑似津波がタンクに作用した際の再現性については、計算された水位や波力の大きさが水理模型実験の測定結果と定量的に一致しているとは言えないが、定性的な傾向は再現されていると判断し、考察を行った。

本研究では、タンク底面に作用する計算された鉛直方向の波力と、タンク周囲の水位分布から計算した静水圧がタンク底面に作用すると仮定し、底面の面積で積分した値を比較した。比較結果を図-2に示す。



— 静水圧による仮定波力 — 底面への作用波力

図-2 仮定波力と底面への作用波力の比較

Keisuke SAKAKIBARA, Susumu ARAKI

sakakibara_k@civil.eng.osakak-u.ac.jp

4. 考察

図-2の結果から、静水圧から算出した鉛直力が底面で算出した波力を大幅に上回っていることが分かる。この原因について

- ① 静水圧によって仮定された鉛直力は底面のみを対象としているため、上面に作用する波力も考慮する必要がある。
 - ② タンク底部にクリアランスがあることで、流体が流れ込み、流速が発生することで圧力低下が起こるので、流速の影響を考慮する必要がある。
- の2つが考えられ、それぞれについて考察を行った。

まず、①について、今回再現対象とした水理模型実験では津波の作用時にタンクの模型が完全に水没することは無かったが、津波衝突時に跳ね上がった水塊がタンク上面に降りかかることがあった。その水塊の影響を確認するため上面の波力の算出を行った。底面への作用波力と上面への作用波力を比較した結果を図-3に示す。比較結果から、上面の作用波力の最大値は底面の1/10ほどしかなく、その影響は小さいものと考えられる。

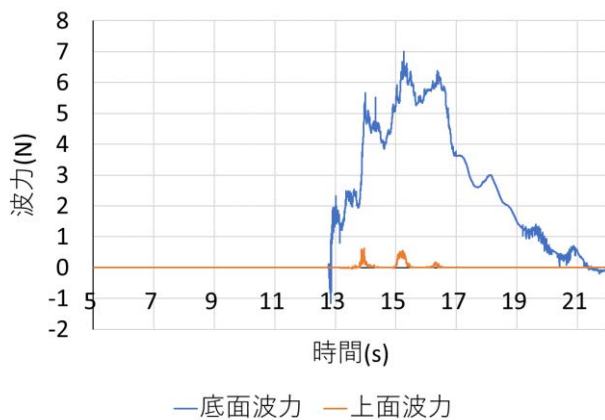


図-3 タンク底面の作用波力と上面の作用波力

続いて②について、流速を考慮するため、底面に作用する圧力・静水圧・流速を水頭に変換し、静水圧と流速の水頭の差を取り、力に変換したものを底面で積分した。計算について以下の式-1に示す。

$$F = \int \left\{ \rho g \left(h - \frac{v^2}{2g} \right) \right\} dA \quad (\text{式-1})$$

ここで、 h ：タンク周囲の水位分布、 v ：タンク底面に隣接する格子内の流速を表す。

上記の F で表した鉛直力と静水圧によって仮定した

鉛直力と底面への作用波力を比較した結果を図-4に示す。図-4の13秒付近で F の値が負のピークを取ることに付いて、これは静水圧が発生するほどの水位がタンク周囲に発生するよりも先にクリアランス内に水が流れ込み、流速が発生することで起こるものである。

比較結果より、流速を考慮した F の値は底面に作用する波力の値を過少に評価することがわかった。

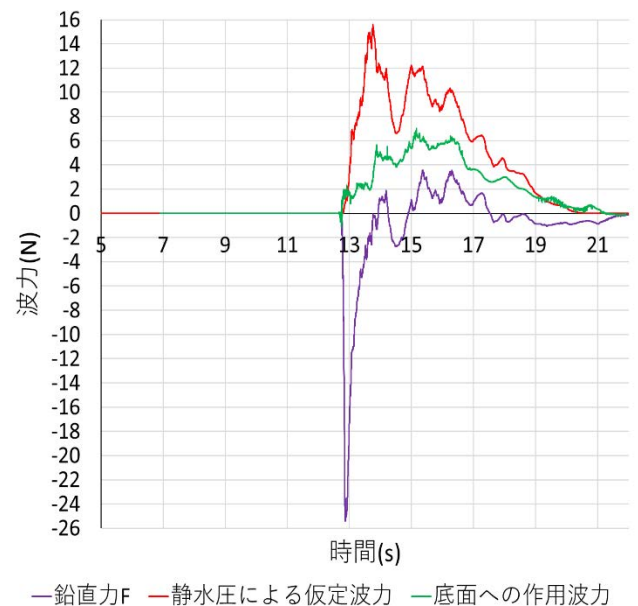


図-4 F と静水圧による仮定波力と底面への作用波力の比較

5. 結論

鉛直方向の波力の特性について今回得られた知見を以下に示す。

- (1) 上面に作用する波力は底面と比べるとかなり小さい値を取る。よって、タンクが完全に水没することがない状況においては、タンク上部に作用する波力は鉛直方向の波力の評価に影響は与えないと考えられる。
- (2) 流速を考慮して計算した鉛直力の値は、静水圧による仮定とは違い、底面に作用する鉛直方向の波力を下回る結果となった。今回、流速の考慮をする際に速度水頭をそのまま用いたが、今後流速を考慮に入れる際は係数をかけるなどの調整が必要であると考えられ、その点については今後の課題としていきたい。