

鋼板製一体形タンクの耐震性能特性に関して

○中央大学大学院 学生会員 小野 泰介 (株)十川ゴム 正会員 井田 剛史
中央大学 正会員 平野 廣和 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

東日本大震災¹⁾や熊本地震で広範な地域で貯水槽の被害が多数発生したことを鑑み、貯水槽の耐震安全性を向上させるのが緊急の課題である。今後貯水槽をはじめとする給水タンクの耐震安全性を向上させるためには、スロッシングのみならずバルジング現象の解明が重要であり、かつバルジング対策をどのように耐震設計に取り入れていくかが、一つのポイントになるものと思われる。

そこで本研究では、一般に広く使われている貯水槽である鋼板製一体形タンク（以下、鋼板製タンク）に着目し、このタンクとステンレス鋼板製パネルタンク（以下、SUS 製タンク）と FRP 製パネルタンク（以下、FRP 製タンク）の比較を行う。ここでは同一寸法の三種類の実機貯水槽を大型振動台に設置して地震波一軸加振実験を行う。ここでは、タンク壁面に加速度計と圧力計を設置し、加振時にタンク壁面の応答加速度と内溶液による動液圧を計測することで、タンク構造形式による挙動の比較・検討を行う。

2. 鋼製一体型タンク

写真-1 に示す鋼板製タンクは、板厚 4.5mm、材質は SS400 を使用し、内外面溶接一体のコルゲート構造になっているので、剛性を十分に有する構造である。そのため内部には補強材などは無い構造となっている。

この比較対象として写真-2 に示す SUS 製タンクは、天井と上段パネルの板厚は 1.5mm、材質は SUS329J4L、底板、中・下段パネルの板厚は 2.0mm、材質は SUS444L である。内部構造は、タンク内部に SUS 製の形鋼で補強材が構成された、ジャングルジムのように入り組んだ構造となっている。壁面の板厚が薄いのでこの部分の剛性が低い事、さらに全溶接構造なので溶接長が長いなどの特徴を有している。また写真-3 に示す FRP 製タンクは、全てのパネルにおいて板厚 10mm である。さらに側板のパネルの剛性を上げることを目的にして、外壁部に鋼製の形鋼で補強をしている。また内部には、側板のパネルを引っ張る棒材、屋根を支える棒が立ててある構造である。

3. 実験概要

3.1 計測項目

三種類の実機貯水槽を検証するために、加速度計として (株) 共和電業社製の小型低容量加速度変換器 AS-GB を用い、圧力計と同様の位置に設置して壁面の加速度応答を計測する。本実験で計測する応答加速度は、壁面の中心に底面からの高さ 500mm、1,500mm、2,500mm の 3 箇所それぞれ加振方向に加速度計を設置し計測する。圧力計は加速度計と同様の 3 箇所に設置し計測する。圧力計には、(株)共和電業社製の低容量圧力変換器 PGM-G を用いる。本論文では、設置位置 1500mm において比較する。この方法によって、加振時の壁面に及ぼす動液圧に関して検討を行う。



写真-1 鋼板製タンク



写真-2 SUS 製タンク 写真-3 FRP 製タンク

3.2 加振実験

水深は通常使用されている水位は、常用水深である水深 2700mm とし、加振実験を行う。入力地震波には、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で観測された JMA 神戸 NS 方向観測波を使用する。この観測波の入力を試みたが、大型振動装置の能力の関係から、出力振動台変位最大 56% 相当で加振する。加振方向は加速度計のある壁面に直交に加振する。

4. 実験結果

図-1 に各タンクにおける加速度波形を示す。最大加速度は鋼板製タンクにおいて加速度計設置位置 1500mm で約 7m/s^2 を示した。これに対して、SUS 製タンクは 41.9m/s^2 程度となっており、鋼板製タンクの最大加速度は SUS 製タンクの約 1/6 である。

図-2 に各タンクにおける加速度の応答スペクトルを示す。鋼板製タンクの加速度では 9.7Hz 付近が卓越している。箕輪ら²⁾によるとタンク壁面のバルジング固有周期は 0.15s~0.4s と推定している。つまり、バルジング固有振動数は 2.5Hz~6.5Hz 程度と言える。鋼板製タンクにおいて、壁面の剛性が高く、内溶液と壁面が連成して振動せず、バルジング振動が発生しなかったと考える。鋼板製タンクでの加速度の値は、計測位置による違いは見られず、ほぼ同等の値を示している。

これは、鋼板製タンクは板厚4.5mmかつコルゲート構造であるので壁面の剛性が高く、強度が均一になっていることによるものと思われる。また、剛性が高いことで壁面が振動しなかつたと考えられる。さらに地震動は、数Hzまでの成分が卓越することが多いことから、鋼板タンクは高周波側にスペクトルピークを有するので、共振してタンクが破損する危険がないと推察する。

図-3に各タンクにおける動液圧波形を示す。各タンクの最大動液圧の値はいずれも±10kPa未満である。ここで鋼板製タンクに着目すると、動液圧の波形がすぐに抑えられているのがわかる。これは鋼板製タンクが壁面の剛性が高いため振動しにくいことから、波形の収まりも早いと考えられる。

壁面で計測された動液圧をスペクトル解析した結果を図-4に示す。これらのスペクトル結果は、図-3の動液圧時刻歴(継続時間20秒間)のスペクトルであり、振動実験の加振中の成分を含んだスペクトルである。各タンクのスペクトルピークを比較すると、0.5Hz付近のところで全てのタンクがスペクトルピークを示している。これは、タンク全体のスロッシング1次モード固有振動数であることから、波高がピークに達した後にスロッシング1次モードで揺動していたことが考えられる。

鋼板製タンクにおいて、圧力のスペクトルピークはほぼ0.5Hzに集中しているが、わずかに9.72Hzにもスペクトルピークが存在している。これは加速度のスペクトル解析した結果と一致していることから壁面での振動が微小ながらも内容液に影響を与えていたことが考えられる。しかし、0.5Hzでのスペクトルピークの卓越ほどではないことから、鋼板製タンクではほぼタンクの1次モード固有振動数で内容液が揺動していることがわかる。加速度計による計測結果や最大動液圧の推移から推測した通り、壁面の剛性が高いことから壁面が振動せず、タンク上部で顕著に揺動するスロッシング現象が表れた結果になったと考えられる。

5. おわりに

鋼板製タンクに着目し、構造形式が異なる他の二種類のタンクとの動的な挙動の比較・検討を行った。その結果、鋼板製タンクは全体の剛性が高いこと、剛性がタンク全体でほぼ均一であることが特徴として挙げられる。特に壁面の固有振動数が地震波の領域外に位置するので、バルジング振動を生じる可能性が少ない。これは、東日本大震災や熊本地震においても被害が無かったという調査結果³⁾からも裏付けられる。学校や病院などに避難所に指定される重要施設においては、タンクを設置する場合に望ましい構造であると考えられる。

参考文献

- 1) 井上涼介, 坂井藤一, 大峯秀一: 2011年東北地方太平洋沖地震における水槽の広域被害および地震動特性との関連の分析, 第34回土木学会地震工学研究発表会, A13-639, 2014.10.
- 2) 箕輪親宏, 清水信行, 鈴木純人: 長方形ステンレスパネル水槽の振動台実験, 日本機械学会論文集C編, Vol. 68, No. 668, pp. 1056-1063, 2002.4.
- 3) 厚生労働省: 平成28年(2016年)熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書, 2016.6.

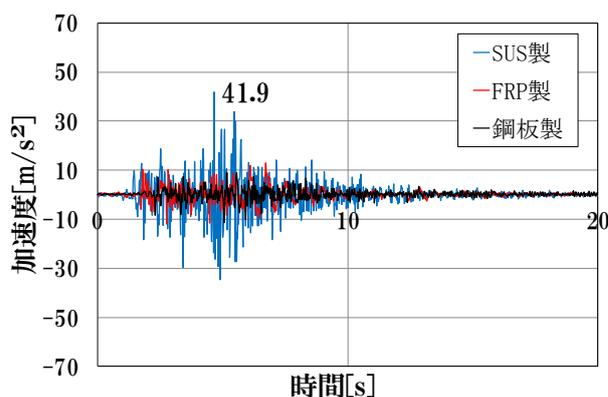


図-1 加速度波形 (設置位置 1500mm)

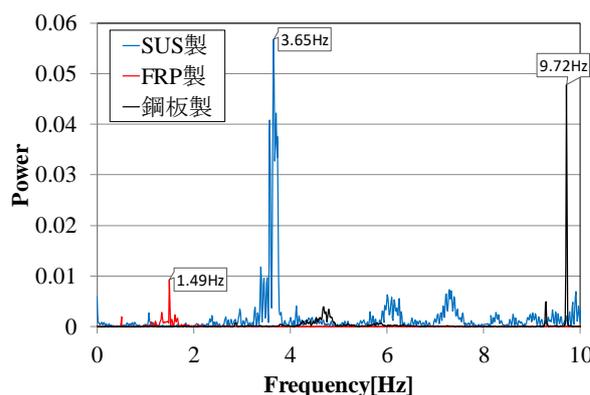


図-2 加速度のパワースペクトル (設置位置 1500mm)

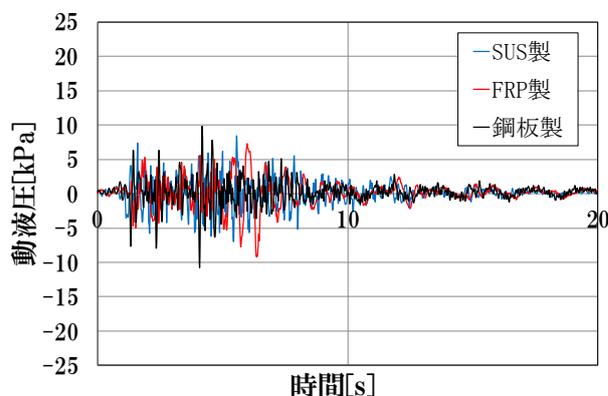


図-3 動液圧波形 (設置位置 1500mm)

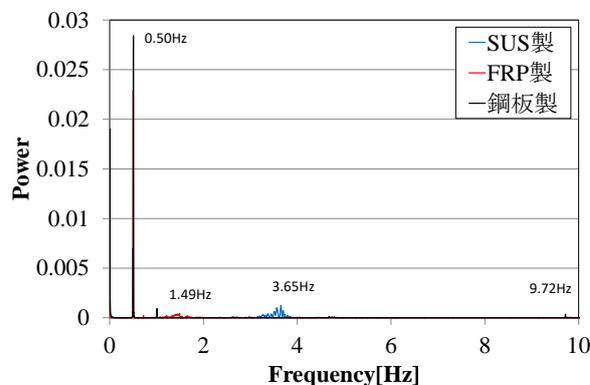


図-4 圧力のパワースペクトル (設置位置 1500mm)