

構造形式の異なる実機貯水槽の振動応答特性の違いに関して

○中央大学大学院 学生員 塩野谷 遼 (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

地震大国である我国では、地震による様々な被害が多数報告されている¹⁾。その一つに貯水槽の破損が挙げられる。貯水槽の構造形式に着目すると、一般に貯水槽は外壁の材料によって三種類に分類することができる。FRP製パネルタンク（以下、FRP製）、ステンレス製パネルタンク（以下、SUS製）、鋼板製一体形タンク（以下、鋼板製）である。既往の研究²⁾では、同一構造形式のタンク毎による検討が主であり、構造形式の違いを比較・検討した研究は少ないのが現状である。

そこで本研究では、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振動実験を行い、タンク構造形式の違いによる応答特性の違いの特徴を明らかにする。ここでは、タンク壁面に加速度計を設置し、加振時にタンク壁面の応答加速度を計測することで、タンク構造形式による挙動の比較・検討を行うものである。

2. 実験概要

写真-1～3 に示す各辺 3,000mm の各貯水槽に水深 2,700mm まで水を注水し、加振実験を行う。各貯水槽の特徴として SUS 製は、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。内部構造は補強材などが入り組んでいる。鋼板製は板厚 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おり、内部に補強材などはない。FRP 製は板厚 10mm であり、外部に補強材と内部に屋根を支える棒が立ててある。本実験で計測する応答加速度は、図-1 に示すように面の中心に底面から高さ 500mm、1,500mm、2,500mm の 3 箇所を設置する。入力波形は、図-2 に示す兵庫県南部地震神戸海洋気象台で観測された加速度成分の内、NS 波成分を用いる（以下、神戸波）。

本実験では、水深を 2,700mm に統一して実験を行うため、本貯水槽の固有振動数は、1 次モードで 0.49Hz、2 次モードでは 0.87Hz である。図-3 に図-2 で示した神戸波の加速度についてスペクトル解析を行なった結果を示す。ここに、今回使用する貯水槽のスロッシング固有振動数 1.2 次モードを破線で示す。これらにより、貯水槽の構造形式による違いを比較・検討する。

3. 実験結果

(1) 加速度応答

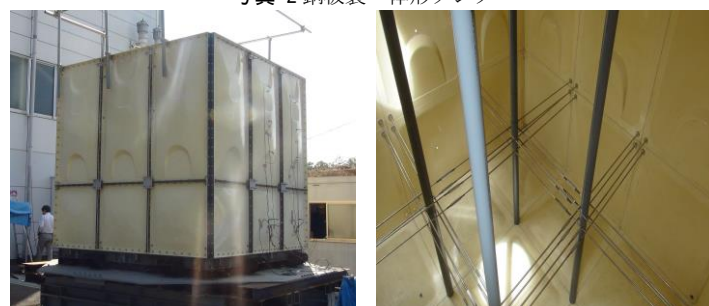
図-4 に各貯水槽において計測された壁面の応答加速度を示す。ここで SUS 製では、最大加速度が約 65m/s^2 であるのに対して、鋼板製は約 10m/s^2 程度となっており、鋼板製の最大加速度は SUS 製の約 1/6 である。FRP 製では最大加速度が約 27m/s^2 程度であり SUS 製と鋼板製の間に位置する結果となった。これは、SUS 製が板厚 1.5～2mm 程度のステンレスパネルの組合せで構成されていることから、元々剛性が低いので揺れやすい構造であることに起因している。さらにパネル間接合部分に補強材が多数入っているため、写真-1 (b) に示すように、高さ方向に対して剛性の低い部分と剛性の高い部分とが入り組んだ構造となっている。そのため



(a) 外観 (b) 内面
写真-1 ステンレス製パネルタンク



(a) 外観 (b) 内面
写真-2 鋼板製一体形タンク



(a) 外観 (b) 内面
写真-3 FRP製パネルタンク

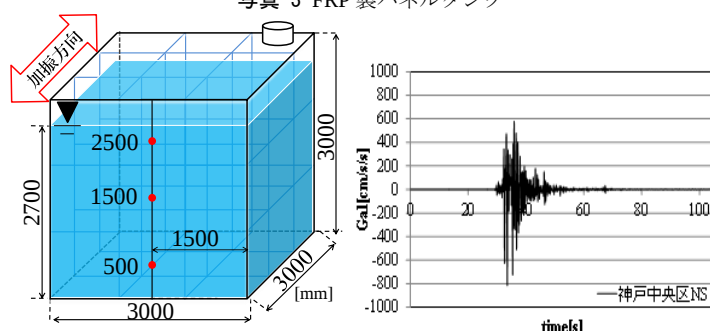


図-1 加速度計設置位置

図-2 兵庫県南部地震神戸海洋気象台 NS 成分加速度波形

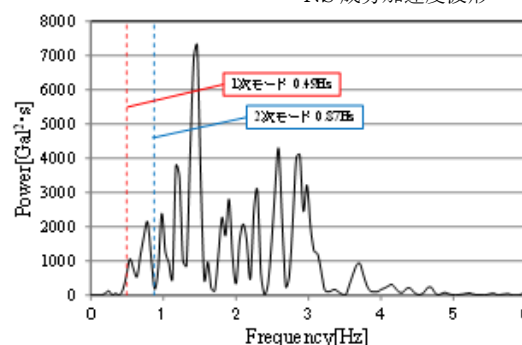


図-3 神戸波のスペクトル解析結果

SUS 製は、加速度計の設置位置によって計測値に違いがある結果になった。また、内溶液の移動が起振元となってパネルが振動して加速度が高くなったと考えられる。このことから、SUS 製の貯水槽では壁面と内溶液が連成して振動するバルジング現象²⁾が発生したと推定される。一方、鋼板製は、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、鋼板製は板厚 4.5mm かつコルゲート構造であるので剛性が高く、壁面の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、剛性が高いことでパネルが振動せず、最大加速度が約 10 m/s^2 程度になったと考えられる。FRP 製では、剛性が低いため内溶液の運動が支配的になる。そのためパネル自体の振動ではなく、内溶液の振動によって大きくパネルが変形するため SUS 製の最大加速度ほど大きくならなかったと考えられる。

(2) 加速度のスペクトル解析結果

壁面で計測された応答加速度をスペクトル解析した結果を図-5 に示す。各貯水槽と比較すると、スペクトルピークが異なっていることがわかる。SUS 製は、3.6Hz 付近にスペクトルピークを示しているため、低周波数側にあるのに対して、鋼板製は 4.7Hz 及び 9.7Hz 付近にスペクトルピークが存在し高周波数側に位置している。FRP 製では 2.1Hz 付近にスペクトルピークを示していることから最も低周波数側に位置する結果になった。この構造形式の違いによるスペクトルピークの差は、各貯水槽の剛性が異なるためと考えられる。

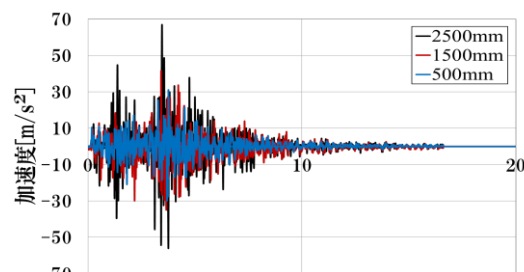
次に図-3 に示した神戸波のスペクトルと比較すると、SUS 製や FRP 製のスペクトルピークは、神戸波のスペクトルピークに近い値となっているため、バルジング現象が生じ、パネルの振動につながったと考えられる。これに対して鋼板製は、内溶液のみのスロッシング現象が生じたことが考えられる。また、10Hz 付近の高周波数帯をスペクトルピークに含む地震は起きにくいことから、高周波数側にスペクトルピークを有することで共振し、貯水槽が破損する危険を防ぐことができる。

4. おわりに

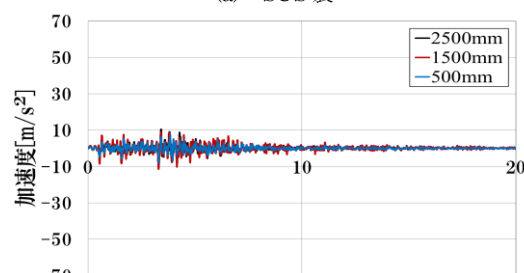
各タンクを構造別に比較すると、鋼板製は剛性が高いのでスペクトルのピークが高周波側に、SUS 製と FRP 製は剛性が鋼板製より低いことから、ピークが低周波側に存在する。また、発生する加速度は SUS 製、FRP 製、鋼板製の順で大きくなっている。これより剛性の低い構造ではバルジング現象の発生が考えられる。このため、タンク側壁の剛性がバルジング振動の発生に寄与していると考えられる。ところで FRP 製の場合、鋼材で外部補強を行い剛性を高めているが、これはバルジング振動への対策の一つになると思われる。今後は外部補強による違いを検討し、さらに動液圧の計測等を行いパネルに作用する圧力の挙動の確認を行なう予定である。

参考文献

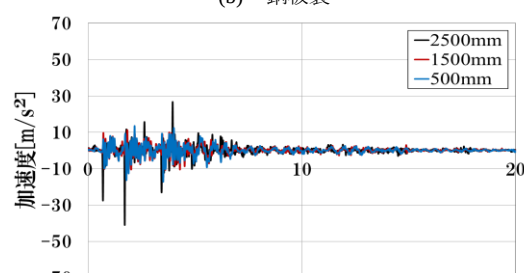
- 1) (社)リビングアメニティ協会給水タンク委員会：東日本大震災における給水タンク調査，ALIA NEWS No.128，pp.4-9，2012.5.
- 2) 箕輪親宏，清水信行，鈴木純人：ステンレス長方形水槽の耐震実験（その 1），（その 2），日本機械学会，Dynamics and Design Conference 2000，2000.



(a) SUS 製

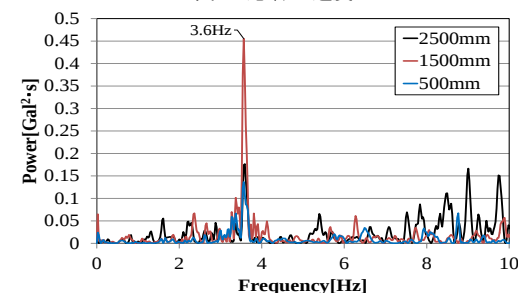


(b) 鋼板製

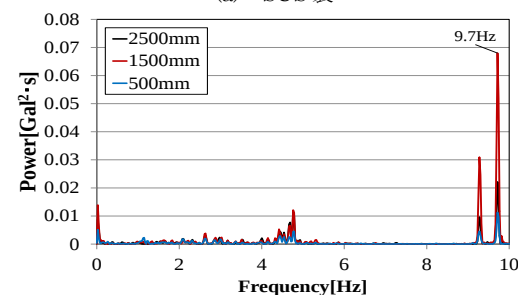


(c) FRP 製

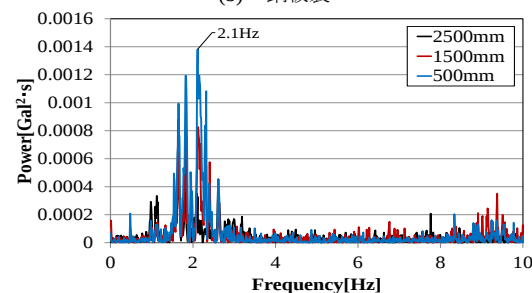
図-4 応答加速度



(a) SUS 製



(b) 鋼板製



(c) FRP 製

図-5 スペクトル解析結果