

異なる FRP パネルタンクを用いたバルジング用制振装置の効果検証

(株)十川ゴム 正会員 ○大野 紗希 (株)エヌ・ワイ・ケイ 正会員 小野 泰介
積水アクアシステム(株) 正会員 宮本 裕太 中央大学 正会員 平野 廣和

1. はじめに

熊本地震での著者らの研究グループの現地調査等¹⁾により、タンク被害は天井や上部の破損と、下部を中心とする即板や隅角部の破損の2つに大別されるとわかってきた。前者はスロッシング(内容液の固有振動数と地震波の卓越振動数の共振による液面揺動)が、後者はタンク構造体の振動が主体となるバルジング(内容液と構造体の連成振動)が原因と考えられる。

耐スロッシング性向上の研究は、著者らの研究グループが浮体式波動抑制装置を開発し、大きな効果を得てきた。一方、矩形タンクにおけるバルジングに関する研究は、実験では箕輪らの研究²⁾や著者らの研究グループの研究³⁾がある他にあまり行われていないのが現状である。今後のタンク耐震性と安全性向上においてバルジング対策が、1つ重要な課題と考える。

そこで本報では、バルジング用に開発した制振装置の効果について、非耐震仕様と耐震仕様の2種類のFRPパネルタンクを用い確認した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 制振装置構成及び設置

オレフィン系エラストマーの中空弾性体及びアルミ材等を写真-1に示す通り組合せる。著者らの研究グループでは、バルジングに対し貯水槽隅角部が弱点となることを指摘していることから¹⁾、装置は貯水槽隅角部の4隅に各貯水槽のパネル継目を利用して設置する。

2.2 実験方法

3000mm×3000mm×3000mmの2種類の積水アクアシステム(株)製FRPパネルタンクを用い、加振実験を行う。写真-2(a)に示すタンクは1980年に水槽耐震設計基準が制定されるより前の非耐震仕様で、メーカーの仕様から設計水平震度0.3Gである。このタンクにおいては加振方向面に20年余り使われ劣化が一部進んでいる可能性があるパネルを用いている。これは現在も使用され続けている同様のタンクが地震時に受ける被害の再現を目的としたものである。また、写真-2(b)は設計水平震度1.0Gの耐震仕様のタンクである。これらのタンクに通常設定水位と同じである内容量90%の水位2700mmまで注水する。これにより制振装置の有無によるタンク側壁応答加速度の低減効果に関して地震波を用い比較する。

比較に用いる地震波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SN方向観測波の30%変位相当とし、加振方向は計測面に直角とする。加振実験には、愛知工業大学が所有する大型振動装置を用いる。また、本実験においてタンク壁面の膨らむ方向を正(+)、凹む方向を負(-)とする。



写真-1 制振装置取り付け時



(a)非耐震仕様 0.3G (b)耐震仕様 1.0G

写真-2 FRPパネルタンク

3. 実験結果

3.1 壁面応答変位

壁面応答変位に関し図-1(a)に非耐震タンク、図-1(b)に耐震タンクの時刻歴波形を示す。また、図-2には全計測箇所における最大値をまとめる。これらから非耐震仕様と耐震仕様のタンク種類の差が大きいこと、耐震タンクでは上部の変位が大きいことがわかる。制振装置効果を、+側と-側それぞれの最大値差から求めると、非耐震タンクでは+側で非制振時82.6mmから制振時53.1mmに低下し、-側では非制振時-75.8mmから制振時-60.7mmに低減されている。同様に耐震タンクを見ると+側非制振時10.8mmから制振9.6mmと低下した一方、-側では非制振時-6.2mmに対し-8.1mmと増大が見られる。

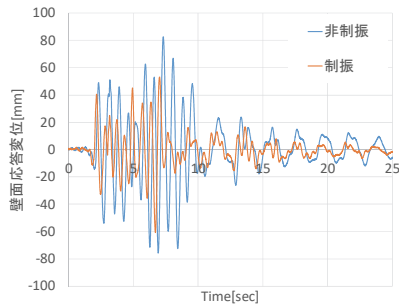
3.2 壁面応答加速度

壁面応答加速度に関し図-3(a)に非耐震タンク、図-3(b)に耐震タンクの時刻歴波形を示す。また、図-4に全計測箇所における最大値をまとめる。ここでも非耐震タンクに比べ、耐震タンクにおいて加速度が小さくなっている。変位と同様に制振装置効果を+側と-側それぞれの最大値から求めると、非耐震タンクでは+側で非制振時7.6m/s²から制振時7.1m/s²に低減しており、-側では非制振時-7.6m/s²から制振時-6.7m/s²に低減している。しかしながら耐震タンクにおいては+側で非制振時4.5m/s²から制振時4.8m/s²、-側では非制振時-3.4m/s²に対し-3.6m/s²とわずかに増大している。

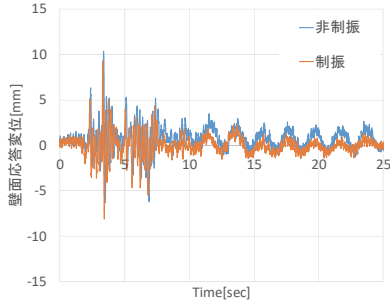
壁面応答変位と加速度の変化は、制振装置付けによるタンク剛性上昇の影響が要因の1つとして考えられ、剛性が高い耐震タンクではバルジングが生じにくく、制振装置効果が得られにくくなったと考える。

キーワード：FRP製水槽、バルジング、制振装置

連絡先：〒599-8244 大阪府堺市中区上之516 TEL. 072-236-5154 Fax. 072-236-5152



(a)非耐震タンク 1500mm



(b)耐震タンク 2000mm

図-1 時刻歴応答変位

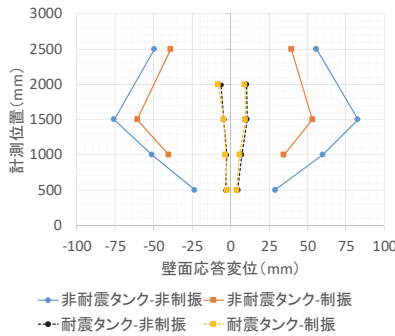
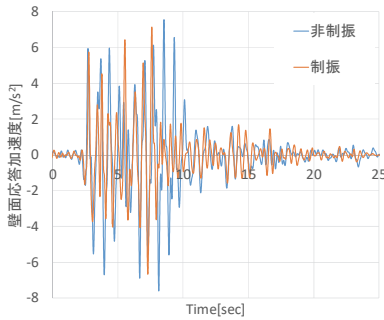
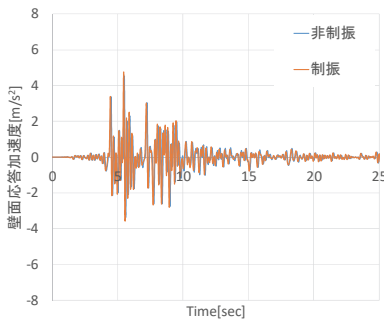


図-2 計測箇所による変位最大値の比較



(a) 非耐震タンク 2000mm



(b)耐震タンク 2000mm

図-3 時刻歴応答加速度

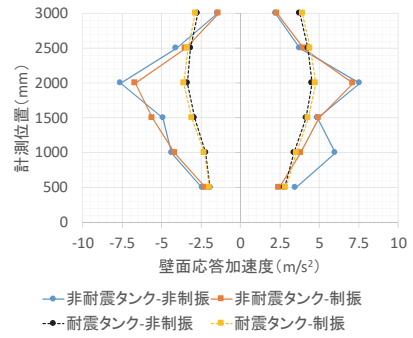


図-4 計測箇所による加速度最大値の比較

4. おわりに

本研究では FRP パネルタンクにおける耐震性向上のため、バルジング対策案として既存タンクへも取り付け可能な制振装置の検討を行った。制振装置の効果を確認するために非耐震仕様と耐震仕様の 2 種類のタンクを用いて、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 SN 方向観測波の 30%変位相当で加振実験を実施した。

非耐震仕様のタンクにおいては制振装置取り付けにより変位及び加速度の壁面応答低減が見られた。

耐震仕様のタンクに関しては、制振装置の有無よりタンクの違いによる壁面応答低減が見られ、特に壁面応答変位の差が顕著であった。制振装置による低減効果は、変位及び加速度応答が小さいため確認できなかった。制振装置付けによる壁面応答への影響はタンク剛性上昇を要因の 1 つとして考えているが、元々の剛性が高められた耐震タンクでは制振装置効果が得られにくくなったものと考えられる。また、バルジング被害を受けやすいとされるタンク中心から下部でなく、上部にかけて壁面応答変位が大きくなる傾向が見られることから、耐震仕様のタンクではロッキング的な振動が発生した可能性がある。

今後の検討にあたり、加振実験時には壁面応答変位と加速度に加えタンク壁面に発生する応力の計測も行う。また解析やタンクパネルの耐久試験を併せて行い、バルジング用制振装置の開発及び FRP パネルタンクにおけるバルジング特性の把握に取り組む必要があると考える。

謝 辞

本研究は、中央大学、積水アクアシステム(株)、(株)エス・ワイ・ケイとの共同研究として行われた。また、本研究の一部は、(独)日本学術振興会科学研究費・基盤研究(C)の給付を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 小野泰介 他：熊本地震におけるステンレスパネルタンクの被害調査とスロッシング発生時の損傷の検証，土木学会構造工学論文集 Vol.66A, pp.137-146,2020.3.
- 2) 箕輪親宏：スロッシングインパクトを考慮した長方形水槽の耐震性に関する研究，東京工業大学学位請求論文，2004.11.
- 3) 小野泰介 他：構造形式の異なる矩形タンクのスロッシング振動応答特性の比較，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.75, No.4, 2020.