

バルジング用制振装置の効果の検討

○(株)十川ゴム 正会員 大野 紗希 (株)十川ゴム 正会員 井田 剛史
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、貯水槽の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。

対スロッシング性能向上の研究は、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、矩形貯水槽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。今後の貯水槽の耐震性と安全性向上において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、一つ重要な課題となる。

そこで本報では、バルジング用に開発した制振装置により、既存貯水槽の耐震性能を向上することを試みるものである。この結果、既存貯水槽の耐震性能の向上が確認出来たので報告する。

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押し出し成形品を切断、加工した中空弾性体を写真-1及び図-1に示すようにアルミフレームやアングル等の数種類の部材と組合せる。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、貯水槽底から1000mmと2000mm位置の8ヶ所に設置する。



写真-1 制振装置取り付け時

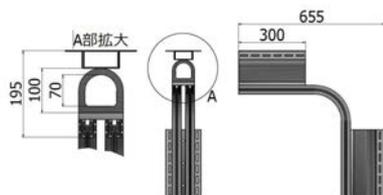


図-1 制振装置寸法

2.2 実験方法

写真-2に示す3000mm×3000mm×3000mmのFRP製貯水槽を用い、加振実験を行う。このFRP製貯水槽は



写真-2 非耐震性FRP水槽

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ある。さらに加振方向面は、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貯水槽側壁応答加速度の低減効果に関して地震波を用いて比較を行う。

本実験で用いる地震波は2種類とし、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(神戸波)と熊本地震宇土NS方向観測波変位50%相当(熊本波)とし、加振方向は計測面に直交とする。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、本実験において貯水槽の膨らむ方向を正(+)/凹む方向を負(-)とする。

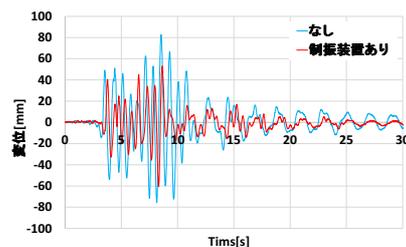
3. 実験結果

3.1 壁面応答変位

表-1に1500mm位置における加振時壁面応答変位の最大値と得られた制振効果を示す。また、図-2は同位置の壁面応答変位である。神戸波の応答変位は制振装置により+側36%、-側20%低減している。同様に熊本波の応答変位は+側48%、-側38%程度低減されている。

表-1 壁面応答変位から見る制振効果

地震波	壁面応答変位 (最大値)		制振効果
	非制振	制振	
神戸波	(+)82.64mm	(+)53.12mm	36%低減
	(-)75.76mm	(-)60.72mm	20%低減
熊本波	(+)59.44mm	(+)30.88mm	48%低減
	(-)69.36mm	(-)43.20mm	38%低減

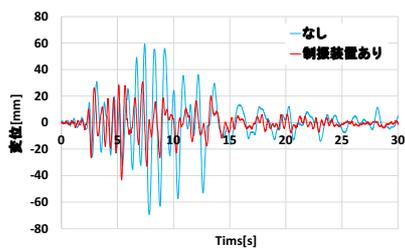


(a)神戸波

図-2 1500mmの位置における応答変位

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



(b)熊本波

図-2 1500mm の位置における応答変位

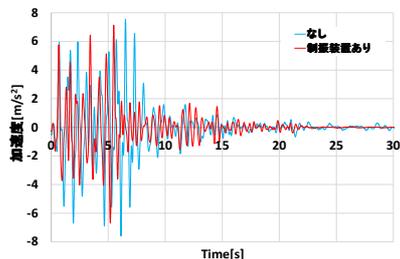
3.2 壁面応答加速度

表-2 に 2000mm 位置における加振時壁面応答加速度の最大値と得られた制振効果を示す。神戸波の応答加速度は制振装置により+側 6%、-側 12%低減している。熊本波では+側に 30%の低減が見られる一方、-側では 5%の低減に留まっている。

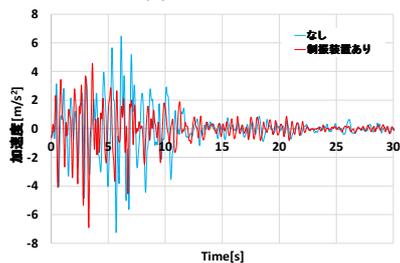
表-2 壁面応答加速度から見る制振効果

地震波	壁面応答加速度 (最大値)		制振効果
	非制振	制振	
神戸波	(+) 7.56m/s ²	(+) 7.14m/s ²	6%低減
	(-) 7.60m/s ²	(-) 6.67m/s ²	12%低減
熊本波	(+) 6.46m/s ²	(+) 4.54m/s ²	30%低減
	(-) 7.25m/s ²	(-) 6.91m/s ²	5%低減

最大加速度に顕著な制振効果は見られないが、図-3 に示す 2000mm 位置の応答加速度からは、制振装置により繰り返しの加速度が抑制され、いずれも 5s 以降減衰が促されていることがわかる。



(a) 神戸波



(b)熊本波

図-3 2000mm における壁面応答加速度

3.3 レインフロー解析

制振装置付加による壁面応答変位と加速度の減衰効果をより明確にするため、レインフロー解析を実施する。レインフロー解析は通常、不規則な繰り返し変動荷重を受ける機械や構造物などにおいて疲労寿命を予測する手法として用いられ、疲労寿命に寄与する振幅とその発生回数を決定するものである。

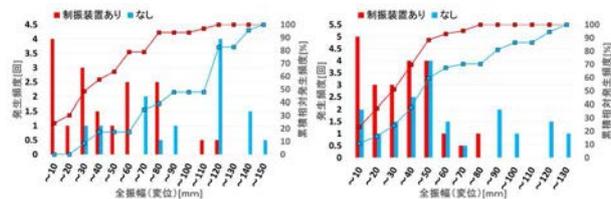
図-4 に壁面変位のレインフロー解析結果を示す。神戸波加振時の全振幅 100mm~150mm の発生回数を比較

すると非制振 6 回に対し、制振装置あり 1 回と大幅に低減されている。熊本波においても全振幅 90mm~130mm の発生回数が非制振時 5.5 回に対し制振装置付あり 0 回と大幅な低減ができています。この結果から、大振幅に制振装置の効果が発揮されたと考えられる。

図-5 に壁面応答加速度のレインフロー解析結果を示す。神戸波において、11~16m/s² の発生回数が非制振 4 回に対し、制振装置ありは 1 回である。また熊本波加振時、9~13m/s² の発生回数は非制振の 3 回に対し、制振装置ありは 2 回である。

また、図-4 ならびに図-5 中において、ある全振幅までに含まれる割合を表す累積相対発生頻度からも、制振装置付加により応答変位と加速度の両方で大きな値の全振幅が抑えられているとわかる。

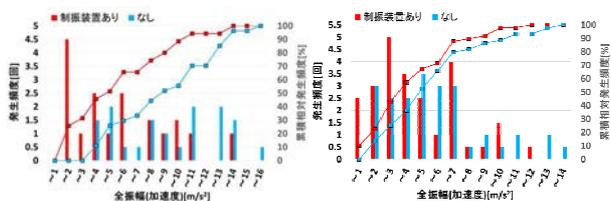
これらの解析結果から、制振装置を貯水槽へ付加することにより、貯水槽壁面の大きな応答の繰り返しの抑制、減衰を促す効果が得られると考えられる。



(a)神戸波

(b)熊本波

図-4 応答変位のレインフロー解析



(a)神戸波

(b)熊本波

図-5 応答加速度のレインフロー解析

4. おわりに

本研究では、既存貯水槽における耐震性向上のためバルジング対策案について制振装置の検討を行った。制振装置をタンク隅角部に設置することで、壁面応答を低減させることができた。さらにレインフロー解析を実施することで、大きな変位ならびに加速度の繰り返し発生回数を抑制する減衰効果を明確にすることができた。ところで本研究で用いた貯水槽は、前途の非耐震設計仕様であるので、それに該当する貯水槽の耐震化向上に効果があるものと考えられる。

謝辞

本研究は、中央大学、積水アクアシステム(株)、(株)エヌ・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パルジ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.