矩形アクリル水槽におけるバルジング現象の対策案についての検討

○中央大学　正会員　小野　泰介　㈱十川ゴム　正会員　井田　剛史
中央大学　正会員　平野　廣和　㈱エヌ・ワイ・ケイ　正会員　石川　友樹

1. はじめに

地震時において貯水槽に発生する被害の一つには，タンク構造体の振動が主体となるバルジング現象が挙げられる．地震発生時の貯水槽の動的な挙動を把握し，ライフラインとして重要な役割を担う貯水槽の被害を防ぐことは非常に有意義と考える．バルジング現象とは貯水槽壁面と内溶液が連成して振動する現象であり，特に2016年熊本地震では，バルジングによる被害が多数見られた．そこで，バルジングに関する研究は，大型の石油タンク等[1)]では行われてきたが，貯水槽に関する研究は，未だ研究例が少なく，対策案は乏しい状況である．本論文では，バルジング現象の対策案として，耐震パッドを設置することで，壁面変位を低減させることを試みる．具体的には，小型の矩形アクリル水槽を用い正弦波加振実験を実施し，その結果バルジング現象において壁面変位と壁面加速度の低減効果あることが確認できたので，これを報告する．

2. 実験概要

本実験に用いる矩形水槽は，外部 450×450mm，高さ 450mm，厚み 3mm のアクリル製である．なお，厚さ 3mm は，アクリル製水槽の製作可能な最低板厚である．ここに内容量の 9 割である水深 405mm まで水を満たし，加振実験を行う．**図-1**，**図-2** のように，(株) KEYENCE 社製の IL-600 レーザー変位計を振動台と水槽壁面中央である水槽底部から 225mm の二箇所，（株）共和電業社製の AS-5GB 加速度計を振動台とタンク壁面中央である水槽底部から 225mm (水槽が膨らむ方向を正) の三箇所に設置し，計測を行う．レーザー変位計と加速度計のサンプリング周波数は 1000Hz である．そこで，耐震パッドの有無により壁面加速度と壁面変位の計測を行うことで，制振効果を明らかにする．耐震パッドは，ホームセンタ等で市販されているポリウレタン製の 50mm×50mm の厚さ 5mm のものを水槽側面底部の四箇所に起振方向と直行方向の面に設置する．耐震パッドの設置はアングルを用いて水槽との間に挟み込んだ．**写真-1** に全体状況と**写真-2**(a)(b)に耐震パッドの設置状況示す．

入力振動数は 1Hz 刻みの 5Hz～20Hz，入力波数は 50 波の正弦波とする．これらの加振条件を**表-1** に示す．さらに，外部にカメラを設置して映像を録画する．これらにより，耐震パッドの有無による制振効果の違いを比較・検討する．

振動台の加速度は，振動台に設置した加速度計の計測より**図-3**に示す通りあり，3.5m/s^{2}と統一して加振実験を試みる．しかし，5Hz～10Hz, 15Hz～20Hzの間では3.5m/s^{2}程度で加振ができているものの，11Hz～14Hz加速度が増大し約5倍の16.2m/s^{2}で加振する結果となった．これは後で供述する11Hz～14Hzが矩形アクリル水槽のバルジング振動数帯に含まれるため，水槽と内容液である水の重量が慣性力として働き振動台に伝わり，加速度が増大したためと考えられる．

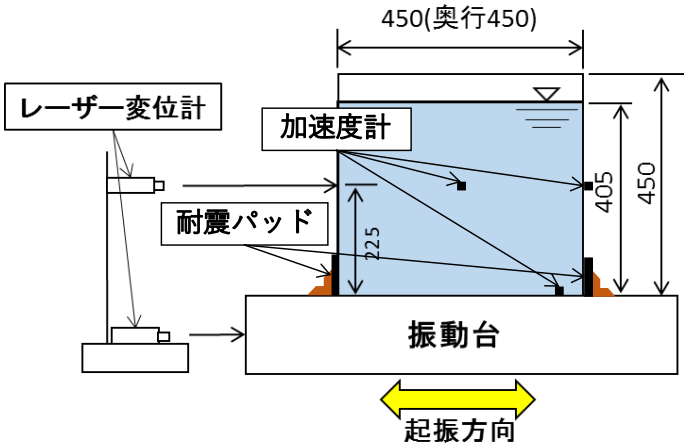

図-1 横から見た計測機器設置位置

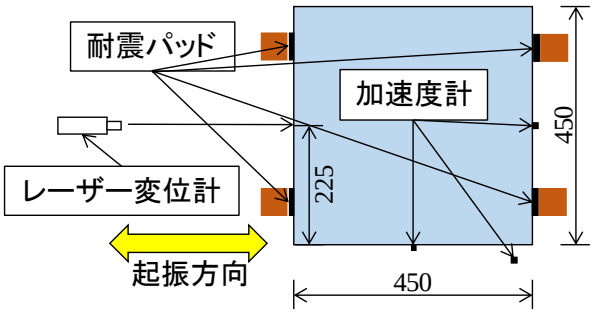

図-2 上から見た計測機器設置位置

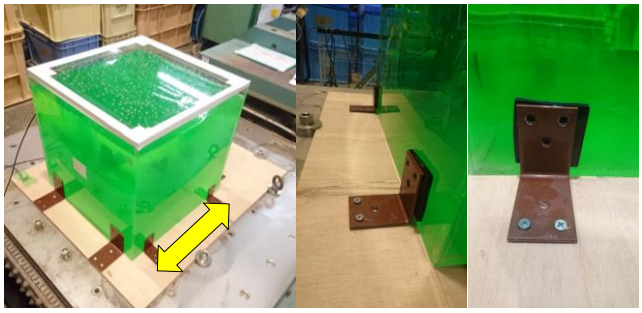

写真-1 全体状況　　(a)　　(b)

写真-2 耐震パッド設置状況

表-1 加振条件

容器内壁幅 L	450mm
水深 H	405mm
入力振動数	5Hz~20Hz
入力波数	50 波
入力波形	正弦波

キーワード：バルジング，水槽，耐震パッド，制振装置，壁面変位
連絡先：〒112-8551　東京都文京区春日　1-13-27　tel. 03-3817-1816　fax. 03-3817-1803

3. 壁面加速度

図-4 に起振方向と直行する面の加速度，**図-5** に起振方向と平行の面の加速度を示す．**図-4** によると 5Hz～10Hz，16Hz～20Hz は加速度の値は比較的小さくなだらかであるのに対し，11Hz～15Hz において加速度の増大 42.5m/s² が見られる．これは矩形アクリル水槽壁面と内容液である水が連成して振動した結果であると思われる．ここがこの水槽のバルジング振動数帯だと考えられる．この様に，11Hz～15H においてある程度の幅を持ってバルジング振動数帯があることは既往の研究 [2),3)]でも示されており，実機貯水槽においても現れている．**図-5** においても 11Hz～15Hz で加速度の増大が見られる．ここで耐震パッドの有無について比較すると，12Hz～14Hz において耐震パッドを用いることで加速度の値を低減できている．

4. 壁面変位

図-6に起振方向と直行する面の壁面変位を示す．ここでは水槽が空の状態を壁面変位±0mmとし，内容液である水を405mmまで注水した結果，水槽は5.8mm膨らんだ．**図-6**によると5Hz～10Hz，16Hz～20Hz では膨らむ方向に7～8mm程度，凹む方向に4mm程度で収まっている．それに対し，11Hz～15Hzくらいの間で壁面変位が増大している．12Hzにおいて最大壁面変位を示しており，耐震パッドなしでは膨らむ方向に8.76mm，凹む方向に1.24mmとなった．ここで耐震パッドありと比較すると膨らむ方向に8.26mmの0.50mm減少，凹む方向に2.20mmの0.96mm減少した．このことからも耐震パッドを用いることで壁面変位を減少させ，バルジング現象を低減させていることがわかる．

5. おわりに

本論文では，バルジング現象を解明するために，450×450mm，高さ450mm，厚み3mmの矩形アクリル水槽を用いて5Hz～20Hzの正弦波加振実験を行った．今回用いた矩形アクリル水槽において，壁面加速度の増大，壁面変位の増大から11Hz～15Hzにバルジング振動数帯があることが考えられる．次に，耐震パッドを設置することで，壁面加速度，壁面変位を低減させることでバルジング現象の対策案について検討した．この対策案により，バルジング現象を低減させる効果があることが示唆された．これより適正な減衰材料を選択することで，バルジングの制振対策が可能となると思われる．

今後の課題としては振動台の加速度を統一して加振実験行うことである．また，実機貯水槽に対するバルジング制振の対策案をここで示したように，壁面に設置することで，壁面振動の低減効果を検証していくことである．さらに，この制振装置の寸法，形状，設置位置，材料に至るまで検討していくことが考えられる．

謝辞：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)と中央大学特定課題研究費の給付を受けたことを付記する．

参考文献

1) 坂井藤一，迫田治行：大型液体タンクの地震応答に関する研究，第４回日本地震工学シンポジウム論文集，1975.11.
2) 塩野谷遼，平澤廣和，井田剛史：実機貯水槽を用いてのバルジング振動に関する振動実験，地震工学論文集，2016.10.
3) 河田章，因和樹，瀬戸大輔，井田剛史，平澤廣和：矩形アクリル製水槽を用いてのバルジング振動に関する振動実験，地震工学研究発表会，2017.10.

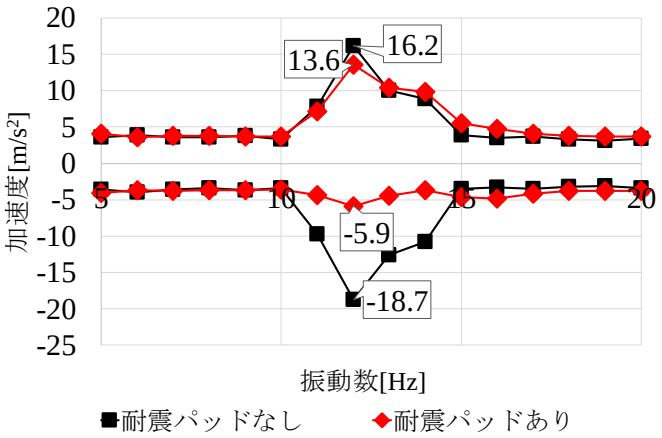

図-3 振動台加速度

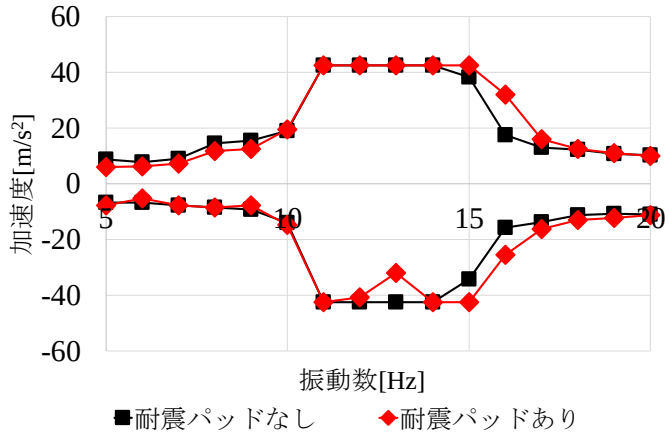

図-4 起振方向と直行する面の加速度

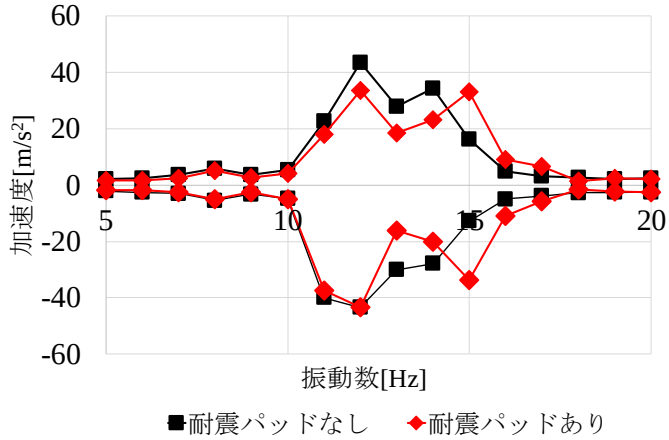

図-5 起振方向と平行の面の加速度

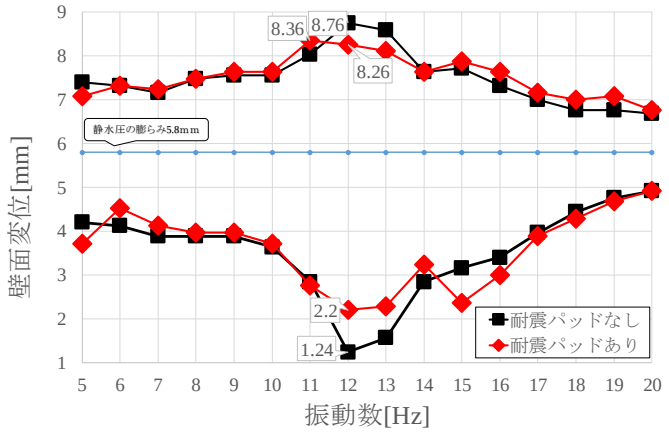

図-6 起振方向と直行する面の壁面変位