

既存貯水槽における耐震性能向上のための制振装置の検討

○中央大学 学生員 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

熊本地震での著者らの現地調査の結果や関連の報告書¹⁾によると、貯水槽に発生する被害には、大きく分けて2種類あることがわかってきた。一つは天井や上部の側板が破損した事例、もう一つは下部を中心として側板や隅角部が破損した事例である。前者はスロッシングが主な原因であるのに対し、後者はタンク構造体の振動が主体となるバルジングが主な原因と考えられる。

スロッシングに関する耐震性能向上の研究は、著者らの研究グループが浮体式波動抑制装置²⁾を開発し、大きな効果を得てきた。一方、バルジングに関しては、ここで取り上げる貯水槽に関する研究として、箕輪ら³⁾の研究や著者ら⁴⁾の研究グループがある他にあまり行われていないのが現状である。そのため、バルジング対策をどのように貯水槽の耐震設計に取り入れていくかが、今後貯水槽の耐震性と安全性向上のためには、一つの重要な課題になるものと思われる。

そこで本報では、スロッシング用に開発した浮体式波動抑制装置とバルジング用に開発した制振装置⁴⁾を組み合わせ、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

制振装置の効果を検証するために、写真-1に示す3×3×3m FRP製貯水槽を用い、水深は常用水深である2700mmにて加振実験を行う。

本研究で使用するスロッシング用制振装置である浮体式波動抑制装置を写真-2に示す。これを写真-3に示す様に貯水槽内に浮かべて設置するものである。また、バルジング用制振装置を写真-4に示す。この制振装置は、特殊ポリエチレンでシリコーンゴムである減衰材を挟んだサンドイッチ構造であり、ポリエチレンとシリコーンゴム間で生じる摩擦抵抗とシリコーンゴムの変形によるヒステリシスにより減衰を得るものである。これを貯水槽隅角部の4隅、貯水槽底から1000mmと1500mm位置の8カ所に取り付けるものとする。これにより制振装置の有無による貯水槽側壁変位と波高の低減効果に関しての地震波を用いて比較を行う。

本実験で用いる地震波は、熊本地震宇土NS方向観測波であり、振動台の能力制限から図-1に示す変位の50%で加振するものとし、加振方向は計測面に直交に加振する。このパワースペクトルを図-2に示す。

側壁の変位と波高の計測には、レーザー変位計（以下、変位計）により応答波高と壁面・振動台変位を計測し、制振装置の効果を明らかにする。変位計は、(株)KEYENCE製のIL-600を用い、タンク内にワイヤーを介して浮かべたターゲットに照射させて応答波高を計測する。また、振動台とタンク壁面の高さ500mm、1000mm、1500mm、2000mm、2500mmにおいて計測し、壁面変位から振動台の変位差し引くことで算出する。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。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。



写真-1 3×3×3m FRP製貯水槽



写真-2 スロッシング用制振装置
(浮体式波動抑制装置)



写真-3 スロッシング用制振装置の浮体状況



写真-4 バルジング用制振装置
(特殊ポリエチレン材に減衰材を挟む構造)

キーワード：貯水槽、制振装置、熊本地震、バルジング、スロッシング

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. 実験結果

図-3 に液面のスロッシング応答波高を示す。本実験では熊本地震宇土 NS50%変位で加振しているため、図-2 におけるスペクトルピークである 0.80Hz による強制振動が強い。また、本実験の貯水槽と水深におけるスロッシング固有振動数は 0.50Hz である。そのため、内容液の共振によるスロッシング応答波高の増大は見られなかった。しかしながら非制振時に対し、制振装置を付加することで減衰が付与され、応答波高は最大波高に達すると加振停止後すぐに収束している。この結果から加振停止直後の自由減衰となった最大波高から 20 波目までの波形と式(1)より得られる減衰曲線を照らし合わせることで算出する。

$$\eta_d(t) = A \exp(-\omega_0 h t) \quad (1)$$

ここで、 η_d は減衰曲線、 A は最大振幅、 ω_0 は固有角振動数、 h は減衰定数、 t は時間である。波形から算出した減衰定数は 0.0048 から制振装置ありの時の 0.0064 に増加した。

図-4 に壁面の変位を示す。(a)の最大変位(+)では制振装置なしの場合、設置位置 1000mm において膨らむ方向に 47.9mm 変位している。この設置位置 1000mm において一番変位が現れたのは、3mFRP 製タンクが写真-1 のように 1×1m パネルと 2×1m パネルから成り立ち、その継ぎ目であることから一番変位したと考えられる。それに対して制振装置ありの場合、設置位置 1000mm において 36.8mm の最大変位を示している。

制振装置ありなしを比較すると、11.1mm の 23%低減している。変位分布も制振装置を付加することで全体的に 4.5mm 以上低減している。(b)の最大変位(-)に着目すると、設置位置 1500mm で一番凹んでおり、制振装置なしでは-62.6mm、制振装置ありでは-53.4mm である。制振装置ありなしを比較すると、9.2mm の 15%低減している。図-5 に壁面の高さ 1000mm における変位波形を示す。高さ 1000mm の壁面変位の減衰定数を比較すると、0.019 であったものが制振装置を付加することで 0.021 に増加している。

4. おわりに

本研究では既存貯水槽における耐震性能向上のための制振装置の検討を行った。スロッシング用制振装置である浮体式波動抑制装置を設置することで内容液の液面揺動を抑えることができた。また、バルジング用制振装置を隅角部内部に設置することで壁面変位を低減することができた。スロッシング用とバルジング用の制振装置を組み合わせることにより、貯水槽に生じる2種類の被害を防ぐことが可能となる。この2つの制振装置を既存貯水槽に設置することで、大規模地震で損傷被害にあった水道施設耐震工法指針・解説で示される最も低い耐震性能3の貯水槽の耐震化向上が見込まれる。これにより貯水槽の損傷被害が減少することが可能になると考える。

今後の展開として、バルジング発生時の減衰定数をさらに上げることである。そのために、最適なシリコンゴムの材料の選定を進めることである。

謝辞：本研究の一部は、科学技術研究費・基盤研究 (C)及び中央大学特別研究の給付を受けた。また貯水槽を寄付して頂いた貯水槽リユース工法会に謝意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 小野他：貯水槽の耐震化向上のための 8 の字型浮体式制振装置の開発，土木学会論文集 A1(構造・地震工学),2018.11
- 3) 箕輪他：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，2002.4.
- 4) 小野他：貯水槽におけるバルジング現象の対策案についての検討，土木学会関東支部第 46 回技術研究発表会，2019.3.

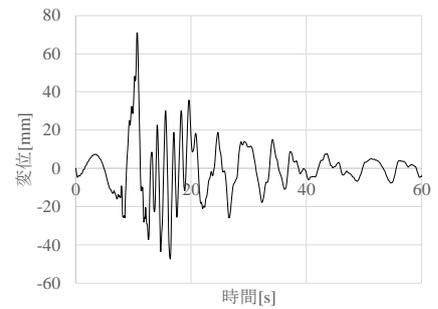


図-1 熊本地震宇土 NS50%変位

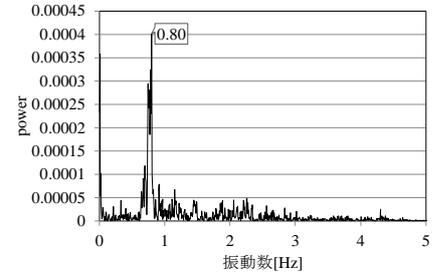


図-2 熊本地震宇土 NS50%スペクトル

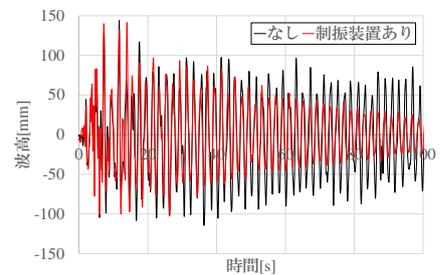
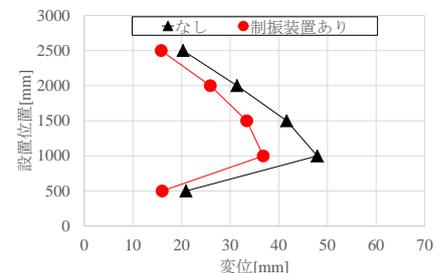
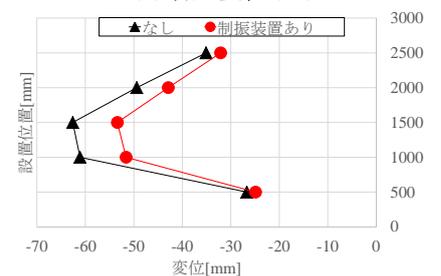


図-3 応答波高



(a)最大変位(+)



(b)最大変位(-)

図-4 壁面の変位分布

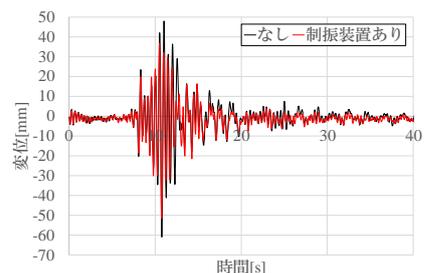


図-5 壁面の高さ 1000mm における変位波形