

FRP 製実機貯水槽での浮体式制振装置の検討

○中央大学大学院 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

地震発生時の貯水槽の動的な挙動を把握し、スロッシング現象等の発生を抑えることは、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に繋がり、非常に有意義と考える。そこで、浮体式でかつパネル式として施工時の組み立てを容易にした浮体式制振装置（以下、制振装置）を開発してきた¹⁾。本論文では、この制振装置を矩形断面のFRP製実機貯水槽に設置して大型振動装置で加振実験を実施し、その結果スロッシング現象に大きな波高低減効果と減衰効果等があることが確認できたので、これを報告する。

2. 実験概要

写真-1に示す各辺2000mmのFRP製の貯水槽（以下、タンク）に水深1400mmまで水を満たし、加振実験を行う。図-1のように、レーザー変位計、圧力計をタンクに設置し、制振装置の効果を明らかにする。

レーザー変位計（以下、変位計）は、(株)KEYENCE社製の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において計測し、それぞれの変位を算出する。

圧力計は(株)共和電業社製のPGM-Gを用いる。これらを、図-1に示す高さ500mm、1000mm、1400mmのAとBの両パネル中央の計6箇所に設置する。圧力計は各設置位置における動液圧変化を計測する。さらに、内部にカメラを設置して映像を録画する。これらにより、制振装置の有無による違いを比較・検討する。

3. 浮体式制振装置

写真-2に示すようにタンク内部に浮かせる浮体式制振装置を考案した¹⁾。これをタンク内部に浮かせ、制振装置の検討を行う。この制振装置のメカニズムは、液体が制振装置のスリットを通過するときに抵抗力が生じ、流速を抑えることである。また、タンク中心でクロスすることで加振方向に対応し、内容液の速度エネルギーが最大となる中央に抵抗を設けている。そして、形状を8の字型にすることで、制振装置への応力分散や、複数組み合わせることで任意の形状のタンクにも対応することができる。この材料の比重は0.9であるので、水面付近に浮遊する。スロッシング現象は水面付近の流体運動が支配的となるので、効果的に抑制し、かつ内容液の水深変化にも対応可能となる。

4. 加振実験

加振実験は、愛知工業大学の大型振動装置を用い、正弦波入力と地震波入力の加振を行う。正弦波入力加振には、応答波高が最大となるスロッシング1次モード固有振動数である0.60Hzを入力振動数とし、入力波数は10波の正弦波とする。加振振幅は応答波高の観測のため天井に内容液が衝突しない $\pm 7\text{mm}$ とし、動液圧変化観測時には最大 $\pm 10\text{mm}$ とする。地震波入力加振では、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NS方向観測波（以下、神戸NS波）を使用する。



写真-1 2000mm 角 FRP 製貯水槽

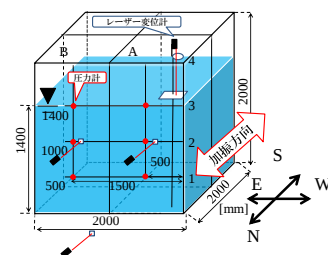


図-1 計測機器設置位置



写真-2 浮体式制振装置の設置状況

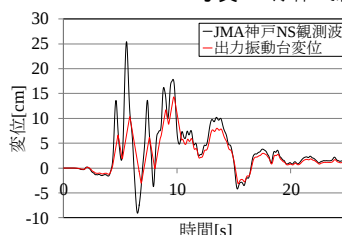


図-2 出力振動台変位

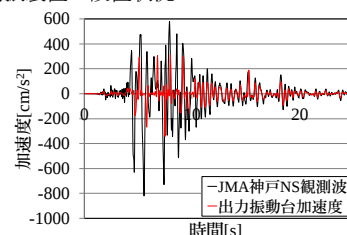


図-3 出力振動台加速度

表-1 加振条件

容器内壁幅 L	2000mm	
水深 H	1400mm	
入力振動数	0.60Hz	1.04Hz
入力波数	10 波	
加振振幅	応答波高観測	$\pm 7\text{mm}$
	動液圧変化観測	$\pm 10\text{mm}$
神戸 NS 波	最大出力変位 56%相当	
	最大出力加速度 53%相当	

この神戸NS波の入力を試みたが、大型振動装置の能力の関係から、図-2に示す出力振動台変位最大56%相当で加振する。また、このときの出力振動台加速度を図-3に示す。以上、表-1に実験条件をまとめて示す。

5. 実験結果

(1) 1次モード0.60Hz 正弦波加振

図-4に1次モード0.60Hz、 $\pm 7\text{mm}$ 加振時の応答波高を示す。非制振時に着目すると、最大波高は301mmを示している。この結果と比較し、制振装置を付加することで、最大波高208mmを示し、31%低減している。また、図-4に示す応答波形から、制振装置を付加することで、加振停止後のスロッシング挙動がすぐに収束している。このときの加振停止直後の最大波高から20波目までの減衰定数は非制振時に0.0025であったのが、制振時に0.0112と約4.5倍増加している。このように、制振装置を付加することで波高低減効果が得られた。

図-5に1次モード0.60Hz、 $\pm 7\text{mm}$ 加振時のB壁面変位を示す。非制振時において壁面変位は最大で $+1.2\text{mm}$ 、 -1.6mm と絶対値で2.8mmの壁面変位を示している。一

方、制振装置を付加することで、壁面変位は+1.2mm, -1.2mmと絶対値で2.4mmと低減している。また図-5の加振停止後に着目すると、非制振時では壁面変位が減衰せず継続しているのに対して、制振装置を付加した場合は壁面変位がすぐに収束している。これは内容液のスロッシング挙動を早期に収束したことに伴い、壁面変位も抑えることができたと考えられる。

図-6に1次モード0.60Hz加振時のA壁面における動液圧分布を示す。いずれも水面付近で動液圧変化の値が増大していることがわかる。これは、1次モード加振では水面付近で内容液が局所的に作用する特徴を示している。加振振幅 $\pm 10\text{mm}$ において実線の非制振と破線の制振装置を比較すると、圧力計設置位置1400mmにおいて、非制振時には2.2kPaであったのが1.8kPaにまで低減している。これは制振装置により、スロッシング挙動の流体揺動を制御した結果といえる。

(2) 神戸NS波56%相当加振

図-7に神戸NS波56%相当加振時の応答波高を示す。非制振時に最大波高は434mmであるのに対し、制振装置を付加することで、最大波高276mmと36%低減している。また、図-7に示す応答波形から、制振装置を付加することで、加振停止後すぐに収束している。この結果を正弦波加振時と同様に算出した減衰定数は非制振時の0.0051が0.0203と約4.0倍増加している。

次に、図-8に神戸NS波56%相当加振時のB壁面変位を示す。非制振時の壁面変位は最大で+11.0mm, -3.2mmと絶対値で14.2mmの壁面変位を示している。この結果と比較し、制振装置付加時では、壁面変位は+7.6mm, -5.2mmと絶対値で12.8mmの壁面変位と低減している。これに対して加振停止後に着目すると、非制振時の壁面変位の継続が、制振装置付加によりすぐに収束し、タンクの破損を防ぐことができると考える。

図-9に神戸NS波56%相当加振時のA壁面における動液圧分布を示す。いずれの動液圧分布も1次モード正弦波加振時とは異なり、水深が深くなることで値が増大していることがわかる。これは、地震波加振では壁面が内容液と連成振動するバルジング挙動²⁾に似た特徴が現れたと考えられる。実線の非制振と破線の制振装置を比較すると、圧力計設置位置1000mmと500mmでそれぞれ7.6kPa, 8.5kPaであったものが、5.1kPa, 7.0kPaに動液圧変化の値を低減している。また、非制振時に膨らみの帯びた動液圧分布が、制振時には、内容液の揺動による加速度応答荷重を低減し、直線的な分布になったことからバルジング挙動も低減することができたのではないかと推測する。

6. おわりに

制振装置を矩形断面の実機貯水槽に装着して大型振動装置で加振実験を実施した。その結果、制振装置を設置することで波高、減衰付加、壁面変位の抑制、動液圧変化の値を低減する効果を発揮した。これにより、地震時に貯水槽全体の耐力を向上させることができる。

参考文献

- 1) 小野泰介, 塩野谷遼, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: スロッシング現象に対する浮体式制振装置, 地震工学論文集, Vol.34 (査読投稿中)
- 2) 坂井藤一: 液体貯槽の耐震設計研究に関する現状と課題, 土木学会論文集, 第362号, I-4, pp.1-11, 1985.

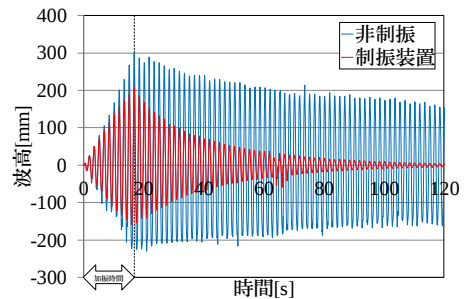


図-4 1次モード0.60Hz $\pm 7\text{mm}$ 加振時の応答波高

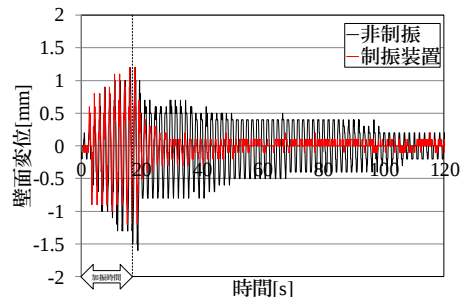


図-5 1次モード0.60Hz $\pm 7\text{mm}$ 加振時のB壁面変位

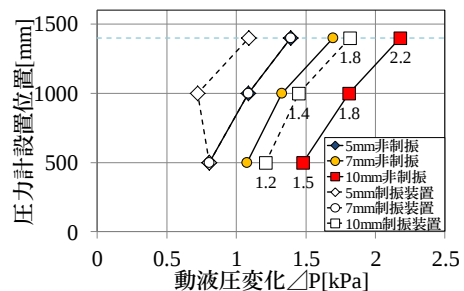


図-6 1次モード0.60Hz加振時のA壁面における動液圧分布

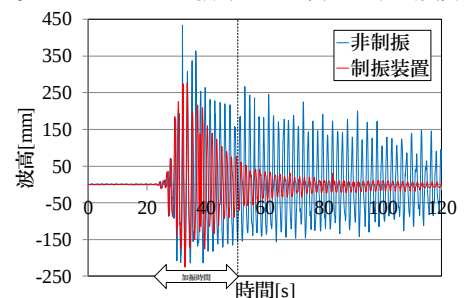


図-7 神戸NS波56%相当加振時の応答波高

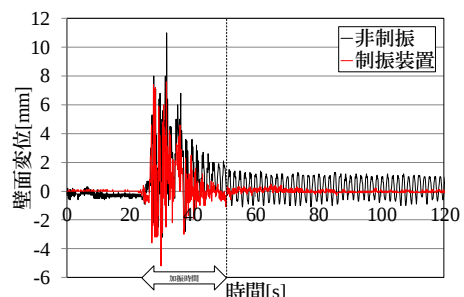


図-8 神戸NS波56%相当加振時のB壁面変位

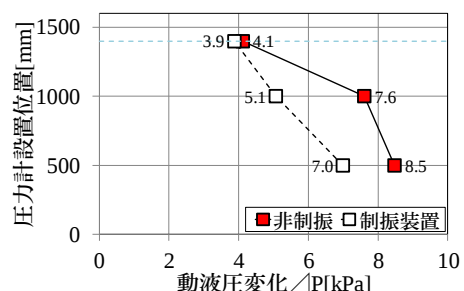


図-9 神戸NS波56%相当加振時のA壁面における動液圧分布