

貯水槽の耐震化向上のための制振装置の開発

○日本通運(株) 正会員 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 (株)エヌ・ワイ・ケイ 石川 友樹

1. はじめに

地震発生時の貯水槽の動的な挙動を把握し、内溶液の液面揺動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、非常に有意義である。これらの対策に関しては、様々な検討が行われてきており、貯水槽内部に抵抗板を利用する方法、金網を容器内に設置する方法、側壁にプラスチック繊維を貼り付ける方法等が提案されている¹⁾。しかし、これらの方法は既存の貯水槽に設置する場合は、装置の固定方法などの施工上の問題、さらには衛生面の確保のため法的に義務付けられた内部定期清掃等の検討課題が残っている。そのため著者らの研究グループでは、できる限り簡単に組み立てられ、かつ経済性と衛生面を追求してパネルを8の字形に組み立てる制振装置を提案²⁾した。そこで本報では、貯水槽として最も多くの設置実績のあるFRP製タンクにこの制振装置を設置し、制振効果の確認を行うものである。具体的には2×2×2mのFRP製タンク(以下、2mFRPタンク)を用いて地震波一軸加振実験を行い、内溶液の応答波高、側壁の変位と動液圧変化に着目し、制振効果の確認を行う。

2. 制振装置の概要

本研究で提案する制振装置は、写真-1に示す8の字形制振装置である。また、図-1に制振装置に用いる、耐塩素性があり柔軟性を有する特殊ポリエチレン樹脂製のダンパーパネルの概要を示す。このパネルについて、物性は硬さ A94、貯蔵弾性率 117MPa、引張強さ 32.3MPa、切断時伸び 810%である。このパネルの比重は0.9であるので、水面付近に浮揚する。さらに、形状を8の字にして制振装置自体への応力分散や、複数組み合わせることで任意形状のタンクにも対応することができる8の字形制振装置の開発に至った。ダンパーパネルとそれを8の字状に組むために、ステンレスボルトで構成されている。なお制振装置のダンパーパネルは間隔を5cm程あけて2段積み上げ組み立てている。この制振装置により、水深変化にも対応可能となり、流体運動を効果的に抑制し貯水槽への負担を軽減する。

3. 実験概要

3.1 計測項目

制振装置の効果を検証するために、写真-2に示す2mFRPタンク(1997年以降の設計基準)において、水深は通常使用されている水位(以下、常用水深)1400mmにて加振実験を行う。図-2のように、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、圧力計により壁面に作用する動液圧変化を計測し、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



写真-1 8の字形制振装置の設置状況
 L(500~5000):自在な長さで対応



図-1 特殊ポリエチレン樹脂製のダンパーパネルの概要



写真-2 2m FRP タンク

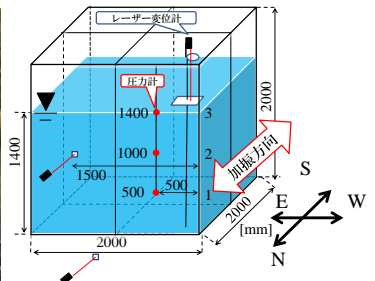


図-2 計測機器の設置位置

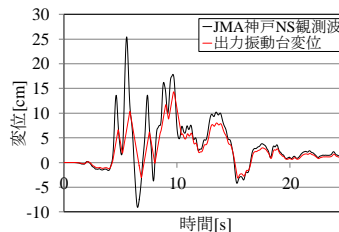


図-3 出力振動台変位

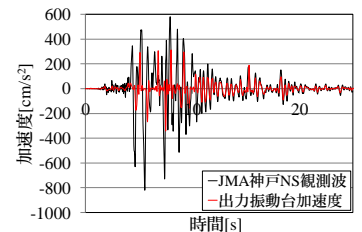


図-4 出力振動台加速度

高さ500mmにおいて計測し、壁面の変位を算出する。

圧力計は内容液が壁面に作用する動液圧変化を計測する。この圧力計は(株)共和電業製の低容量圧力変換器PGM-Gを用いる。本実験における動液圧変化とは、式(1)にて示す。

$$\Delta P = P - P_0 \tag{1}$$

ここで、 ΔP は動液圧変化、 P は全圧力、 P_0 は静水圧である。すなわち、タンクに水を満たした状態をゼロとして計測することで、それぞれの圧力計の設置位置における動液圧変化を計測する。この方法によって、タンクの壁面に及ぼす動液圧変化に関して検討を行う。

3.2 加振実験

加振実験には、2013年に中央大学と愛知工業大学が共同で設置した大型振動装置を用いる。入力地震波には、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方向観測波を使用する。この観測波の入力を試みたが、大型振動装置の能力の関係から、図-3に示す出力振動台変位最大56%相当で加振する。

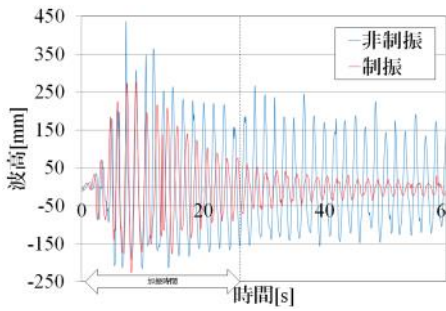


図-5 2mFRP タンクの応答波高

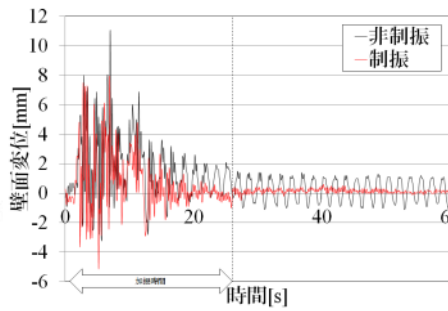


図-6 2mFRP タンクの壁面変位

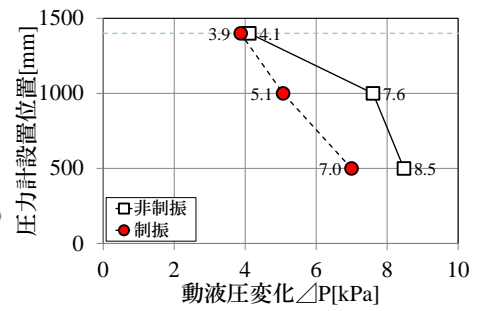
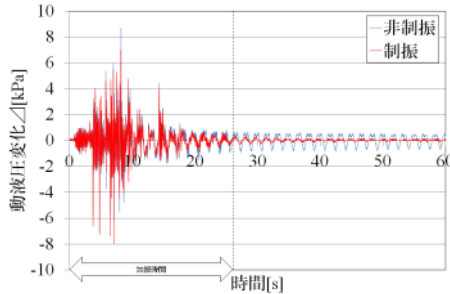
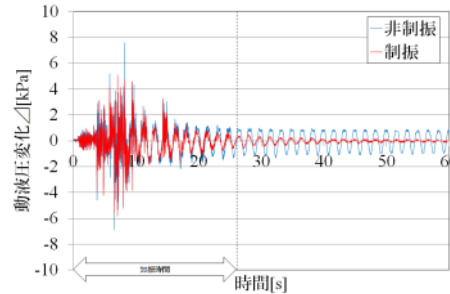


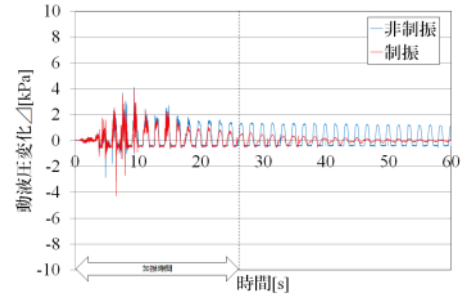
図-7 2mFRP タンクの最大動液圧の分布



(a) 500mm



(b) 1000mm



(c) 1400mm

図-8 動液圧変化の応答時刻歴

また、この時の出力振動台加速度を図-4 に示す。加振方向は圧力計・加速度計のある壁面に直交に加振する。

4. 実験結果

図-5 に 2mFRP タンクにおける応答波高を示す。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-5 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(2)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。

$$\eta_d(t) = A \exp(-\omega_0 h t) \quad (2)$$

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。これより算出した減衰定数は非制振時に 0.0051 であったものが制振装置により 0.0203 と約 4.0 倍増加している。

次に、図-6 に 2mFRP タンクにおける壁面変位を示す。非制振時の壁面変位は最大で +11.0mm、次の谷の値が -0.2mm と 11.2mm の壁面変位を示している。この結果と比較し、制振時では、壁面変位は +7.6 mm、次の谷の値が +0.8mm と 6.8mm の壁面変位と 4.4mm 低減している。また、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、これによりタンクの破損を防ぐことができると考える。

図-7 に 2mFRP タンクにおける最大動液圧分布を示す。また、図-8 の(a)~(c)に各圧力計より得られた動液圧変化の応答時刻歴を示す。図-7 に着目すると、いずれの動液圧分布も水深が深くなることで値が増大していることがわかる。特に圧力計設置位置 500mm と 1000mm でそれぞれ 8.5kPa、7.6kPa であったものが、7.0kPa、5.1kPa に動液圧変化の値を低減している。

一方、図-8(a)~(c)の動液圧変化の応答時刻歴に着目すると、最深部 500mm の図-8(a)では、水が質量体として入力加速度に反応しているだけと考えられる。つまり、加振時はスロッシングが発生している水面付近を除き、水全体が塊として動いていると推測される。

次に、図-6 の壁面変位の計測箇所と同等の高さである図-8(b)の 1000mm の計測位置において、タンク壁面の変位も見られるように、制振装置による制振効果が確認できる。また、それに応じて動液圧変化も変動しており、制振装置による低減効果が確認できる。

図-8(c)では、水面付近であるためスロッシング波高増大による動液圧変化の増分が考えられる。しかし、制振装置による動液圧変化の値に顕著な差は見られない。これは本実験において、地震波を入力しているため、水面は碎波が生じているためだと考えられる。

以上のことから、図-7 のように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、壁面変位も低減することができたことから直線的な分布になったと考えられる。

最後に図-6 と図-8(a)~(c)の加振終了後に着目すると、いずれも速やかに 2mFRP タンクの壁面変位と壁面に作用する動液圧変化を抑制する。よって、一般的な FRP 製貯水槽で地震時の問題となる内容液の繰り返し応答による疲労・劣化に対しての貢献度は大きいと言える。

5. おわりに

2mFRP タンクである実験貯水槽を用いての地震波一軸加振実験による制振装置の効果の検証を行った。貯水槽に制振装置を付加することで流体揺動を抑制することができた。このように制振装置を付加することで揺動を抑え、内容液の繰り返し応答を低減させる。よって、貯水槽全体での耐力が増し、破損を防ぐことができた。これにより、震災時にライフラインである水の確保ができ、減災につながると考える。

謝辞：2mFRP タンク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) 則竹 他：矩形貯槽におけるスロッシング挙動とその抑制方法に対する検討，応用力学論文集，Vol.15，pp785-794，2012.8.
- 2) 池田 他：矩形断面容器におけるスロッシング対策案の検討，応用力学論文集，Vol.11，pp549-556，2008.8.
- 3) 河田 他：8 の字形制振装置による矩形貯水槽のスロッシング低減効果の検証実験，土木学会第 69 回年次学術講演会，pp323-324，2014.9.