

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

小野 泰介¹・河田 彰²・井田 剛史³・平野 廣和⁴・石川 友樹⁵

¹正会員 中央大学大学理工学研究所 客員研究員 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)
taisukeono1990@gmail.com

²正会員 (株)十川ゴム 研究開発部 (〒599-8244 大阪府堺市中区上之516)
akira-kawata@togawa.co.jp

³正会員 (株)十川ゴム 研究開発部 (〒599-8244 大阪府堺市中区上之516)
tsuyoshi-ida@togawa.co.jp

⁴正会員 中央大学教授 総合政策学部 (〒192-0393 東京都八王子市東中野742-1)
hirano@tamacc.chuo-u.ac.jp

⁵正会員 (株)エヌ・ワイ・ケイ 専務取締役 (〒104-0028 東京都中央区八重洲2-6-16)
ishikawa@nyk-tank.co.jp

熊本地震ならびに東日本大震災において、病院等の公共施設の他、集合住宅などの貯水槽がやや長周期地震動に起因するスロッシング現象より損傷される被害が多数発生し、市民生活に甚大な影響を及ぼした。近い将来発生する巨大地震や直下型地震等に備え、貯水槽の動的な挙動を把握してスロッシング現象を低減することは、地震災害発生時のライフライン確保に必要である。著者らの既往の研究において、パネル式制振装置が貯水槽に対してスロッシング低減効果があることを実証した。しかし、制振装置の施工性が悪く、施工に手間がかかった。そこで本研究では施工性を向上させ、パネルを8の字形に組み立てる方式を考案した。実機貯水槽にて加振実験を行い、この制振装置の施工性とスロッシング低減効果の検証を行った。その結果、従来の制振装置よりも格段に施工性が良く、また従来同様に波高低減率と同等レベルの波高低減効果を発揮することがわかった。

Key Words : floating damping device, sloshing, real scale tank, experimental excitation

1. はじめに

2016年熊本地震において写真-1に示すような病院等に設置された貯水槽において、損傷被害が確認されている。ここでは、FRP タンクの隅角部上部側壁ならびに天井部が損傷していることから、スロッシング現象が主な損傷の原因と考えられる¹⁾。同様な上水道関連の貯水槽の被害は、2011年東北地方太平洋沖地震においても被害が多数発生し、病院、学校等の避難所で重要なライフラインの一つである水が十分に配給されず甚大な被害をもたらした^{2)~5)}。

このような貯水槽の被害は、やや長周期地震動により励起されたスロッシング現象（液面揺動の励起）が一つの原因であると考えられている^{1)~5)}。近い将来発生する東海地震、南海地震、南海地震等の海溝型地震や、一部の直下型地震などは、2~5秒のやや長周期の地震を強く励起する可能性が高いので、貯水槽の動的な挙動を把握することは、社会的に大きなニーズがあると考えられる。その際、大型容器の内部液が放射性物質や汚染物質であれば、溢流した場合に甚大な被害が生じる可能性が高い⁶⁾。そのため、円



写真-1 隅角部上部側ならびに天井部が破損した事例
(FRP タンク) (熊本市南区)

筒形である石油タンク、核燃料貯蔵プールなどの矩形水槽をはじめとして、各種大型容器におけるスロッシング現象の把握^{7),8)}、さらにはスロッシング対策の必要性が挙げられ、浮屋根の減衰対策⁹⁾や溢流の把握^{10),11)}に代表される各種の研究や制振装置の検討がなされている。

一方、小型の容器に属する貯水槽に関しても

地震発生時の動的な挙動を把握し、内容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、貯水槽内部に金網を設置する方法¹²⁾、抵抗板を設置する方法¹³⁾、側壁にプラスチック繊維を貼り付ける方法¹⁴⁾等が提案されている。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ことから、どれも実用化には至っていない。

以上の様な背景から本論文では、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の字形状に組み立てる制振装置を提案する。この制振装置を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。具体的には高架水槽にも用いられる2×2×2mのFRP製タンクを用いて正弦波1次モードと地震波一軸加振実験を行い、内容液の応答波高、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. 浮体式制振装置

著者らの既往の研究¹³⁾において、図-1に示す抵抗板パネルを組み合わせた十字型浮体式制振装置が、貯水槽で発生するスロッシング低減に効果があることを実証してきた。しかしながら、既存の貯水槽に設置する場合は形状が複雑であることから、寸法調整等で施工性が悪く施工に多くの時間を有することになった。そこで、できる限り簡単にかつ誰でも組み立てられることが求められる。

このようなことから施工性の向上を最優先として、かつ経済性と衛生面を追求して、写真-2に示すようにタンク内部に浮かせる8の字形パネルを組み立てる方式での8の字形浮体式スロッシング制振装置（以下、制振装置）を考案した。本論文では、写真-3に示す様にこれをタンク内部に浮かせ、制振効果の検討を行う。

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、水の粘性が見掛け上大きくなることを利用して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の字形にすることで、制振装置への応力分散や、複数組み合わせることによって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

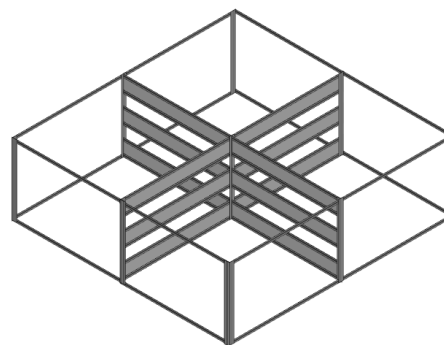


図-1 十字型浮体式制振装置¹³⁾



写真-2 8の字形浮体式制振装置



写真-3 8の字形浮体式制振装置の設置状況

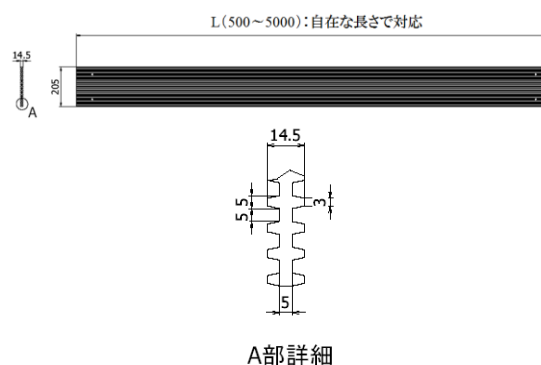


図-1 特殊ポリエチレン樹脂製パネルの概要

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。なお、ここでの制振装置は、施工性や法的に義務付けられている衛生面の確保のための内部の定期清掃の方法などを考慮して、スリット形状としている。

この制振装置は、図-1に示す柔軟性のある耐塩素性を有する特殊ポリエチレン樹脂で成型し

た板状のダンパー部材とそれを8の字状に組むための接続部材であるSUSボルトで構成されている。この制振装置に使用するダンパーの材料は、図-1に示す柔軟性のある特殊ポリエチレン樹脂製のパネルであり、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。このダンパー部材を8の字状に曲げて接合し、現地で製作・設置するものである。これら板状の部材を間隔をあけて縦に積み上げ、組み立てたものである。なお、この材料の比重は前述の通り0.9であることから、水を入れると水面付近に浮遊するので、水面付近の流体運動が支配的となるスロッシングを効果的に抑制し、貯水槽の水深変化にも対応可能となる。

制振装置を貯水槽外部で組み立てた後、直径φ600mm程度の点検用のマンホールから水槽内部へ直接入れることも可能である。これは、この材料の一つの特性である柔軟性からできることであり、貯水槽内部での作業を極力無くす工夫がなされている。最後に写真-3のように貯水槽内に注水し、ダンパーを浮遊させて施工完了となる。この施工方法の場合、ダンパーパネルをタンク内寸に応じて自在に曲げ、連結部位をボルトで固定するだけであるため、施工時間が約30分程度で済み、寸法調整が難しかった十字型浮体式制振装置¹³⁾と比べ、施工性が大幅に改善されている。

3. 実験概要

3.1 計測機器の配置

本論文では、写真-4に示す各辺2,000mmの高架水槽に用いられるFRP製の貯水槽（以下、タンク）を使用する。これに通常使用時の水深である1,400mmまで水を満たし、加振実験を行う。また図-2のように、波高計側のためのレーザー変位計ならびに動液圧測定のための圧力計をタンク壁面に設置し、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発泡スチロール板を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。データのサンプリング周波数は10Hzにて計測を行う。

圧力計は（株）共和電業社製のPGM-Gを用いる。これらを、図-2に示す高さ500mm、1000mm、1400mmのパネル中央の計3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。データのサンプリング周波数は50Hzにて計測を行う。

動液圧変化は、式(1)に示すように定義する。



写真-4 2,000mm角 FRP 製貯水槽

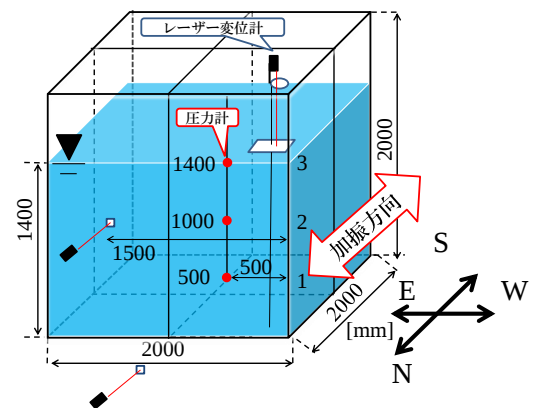


図-2 計測機器設置位置

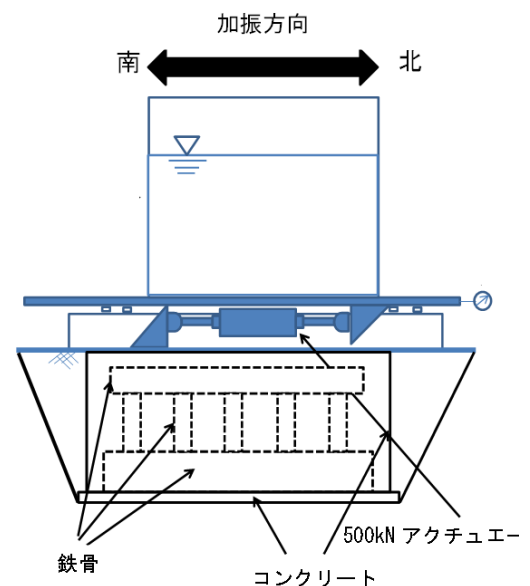


図-3 振動台の概略図

$$\Delta P = P - P_0 \quad (1)$$

ここで、 ΔP は動液圧変化、 P は全圧力、 P_0 は静水圧である。これにより、水を満たした静水圧の状態をゼロとして計測することで、各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、スロッシング発生時の壁面に

及ぼす動液圧変化に関して検討を行う。

さらに、タンク内部に防水型のWebカメラを複数台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。

3.2 加振条件

振動台には、図-3に示すような中央大学と愛知工業大学が共同で新設した大型振動装置にタンクを設置して加振実験を行う。振動台は、東西方向4,500mm，南北方向4,500mmの正八角形である。加振装置は、MTS社製の500kNアクチュエータを2基、制御装置は（株）島津製作所社製の4830形制御装置、レールおよびローラーには日本トムソン（株）のリニアローラーウェイスーパーXを使用している。なお、本振動台は2基のアクチュエータを同期させて、使用しているので、安全のため2基のアクチュエータのストローク差が±2.5mm，試験力差が±300kNに達した場合に強制停止するようにリミットを設定している。加振実験では、正弦波入力加振実験と地震波入力加振実験を行う。

正弦波入力加振実験には、式(2)に示すHousnerの式¹⁵⁾より算出した1次モードスロッシング固有振動数の理論値を用いる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh\left(\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot H}{L}\right)} \quad (2)$$

ここで、 H は水深(m)， L は水槽の幅(m)である。

4. 実験結果

4.1 1次モード 0.60Hz 正弦波加振

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±5, 7, 10mmとする。ここで、応答波高、壁面変位、動液圧を測定する。以上、加振条件を表-1にまとめて示す。

(1) 応答波高

図-4に1次モード 0.60Hz，±5mm 加振時の応答波高を示す。非制振時（以下、非制振とする）に着目すると、最大波高は238mmを示している。この結果と比較し、制振装置を付加する（以下、制振時とする）ことで、最大波高154mmを示し、波高が約35%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。変位計より取得したデータから最大波高とその減衰定数を算出し、非制振の場合と制振装置付加後について比較を行う。減衰定数は変位計の計測より、加振停止後の自由減衰となった波形と式(3)より得られる減衰曲線を照らし合

表-1 加振条件

容器内壁幅 L	2000mm
水深 H	1400mm
入力振動数	0.60Hz
入力波数	10 波
加振振幅	±5, 7, 10mm

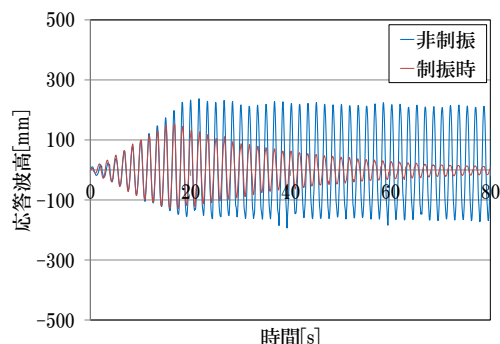


図-4 1次モード±5mm 加振時の応答波高

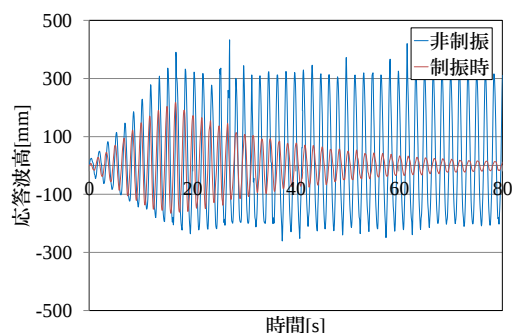


図-5 1次モード±7mm 加振時の応答波高

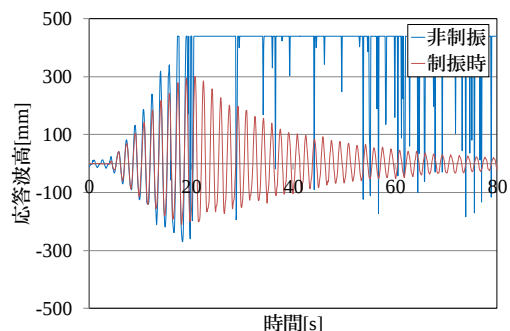


図-6 1次モード±10mm 加振時の応答波高

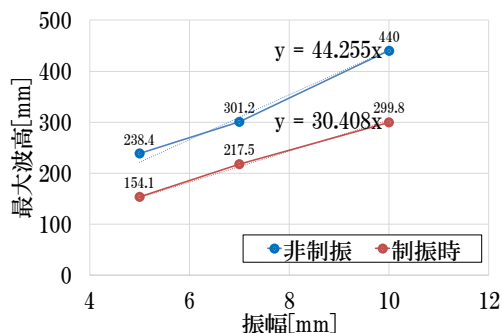


図-7 1次モード加振時の振幅と最大波高



写真-5 1次モード 0.60Hz ±10mm の非制振



写真-6 1次モード 0.60Hz ±10mm の制振時

わせることで算出を行う。

$$\eta_d(t) = A \exp(-\omega_0 h t) \quad (3)$$

ここで、 η_d は減衰曲線、 A は加振停止直後の振幅、 ω_0 は固有角振動数、 h は減衰定数、 t は時間である。

この時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0.0010であるに対し、制振時には0.010と約10倍に増加している。このように、制振装置を付加することで減衰率が増加することで波高低減効果を得ることが明らかとなった。

同様に図-5に1次モード0.60Hz、±7mm加振時の応答波高を示す。最大波高は433mm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218mmを示し、約50%低減している。減衰定数は非制振時に0.0015であるのに対し、制振時は0.011と約7.3倍となっている。

次に図-6に1次モード0.60Hz、±10mm加振時の応答波高を示す。非制振時は非接触変位計の計測範囲を振り切っているため、波形の計測は不能となっている。これに対して制振装置を設置した場合は計測範囲内であり、最大波高300mmを示した。ここでの減衰定数は、制振時は0.012となっている。

これより減衰定数は制振装置を付加することで約7～10倍程度の減衰が得られている。

写真-5に1次モード0.60Hz ±10mm非制振、写真-6に1次モード0.60Hz ±10mm制振時の内部写真を示す。この写真を比較すると、写真-5の非制振ではカメラに水が被っているのが見受けられるが、写真-6の制振時ではカメラに水は被らず波高を抑制できていることがわかる。

図-7に1次モード0.60Hz加振時の振幅と最大波高の関係を示す。波高と振幅にはほぼ比例関

表-2 加振振幅を変化させた時の減衰定数

加振振幅	非制振	制振装置
±5mm	0.0010	0.010
±7mm	0.0015	0.011
±10mm		0.012

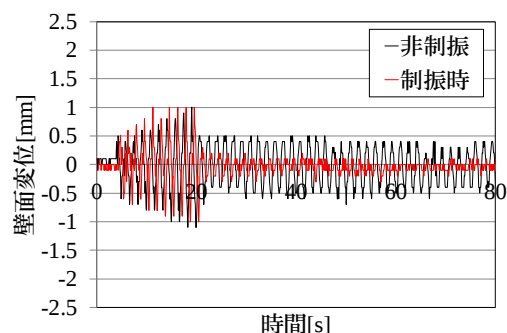


図-8 1次モード 0.60Hz ±5mm 加振時の壁面変位

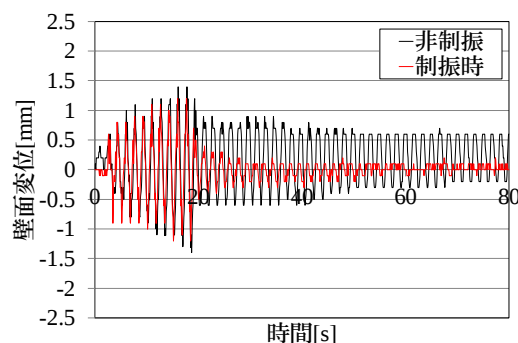


図-9 1次モード 0.60Hz ±7mm 加振時の壁面変位

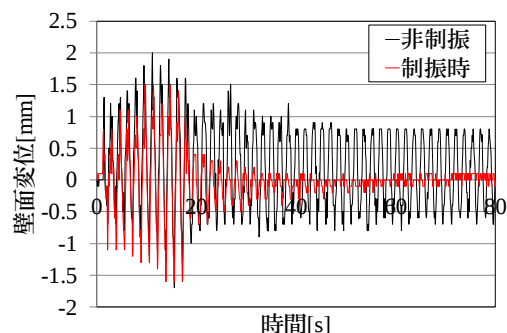


図-10 1次モード 0.60Hz ±10mm 加振時の壁面変位

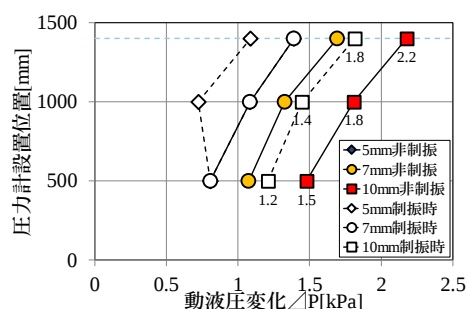


図-11 1次モード 0.60Hz 加振時の壁面の動液圧分布

係があることがわかる。さらに、制振装置を付加することで最大波高の増加率が緩やかになり、ここでも波高を低減させていることがわかる。以上、減衰定数を表-2にまとめて示す。

(2) 壁面変位

図-8に1次モード0.60Hz、 $\pm 5\text{mm}$ 加振時の壁面変位を示す。非制振時において壁面変位は、最大 $+1.0\text{mm}$ 、次の谷で -1.1mm と振幅 2.1mm 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、壁面変位は最大 $+1.0\text{mm}$ 、次の谷で -0.9mm と振幅 1.9mm となり、約10%低減している。

図-9に1次モード0.60Hz、 $\pm 7\text{mm}$ 加振時の壁面変位を示す。非制振時において壁面変位は最大で $+1.4\text{mm}$ 、次の谷で -1.4mm と振幅 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最大 $+1.2\text{mm}$ 、次の谷で -1.2mm と振幅で 2.4mm と約15%低減している。

図-10に1次モード0.60Hz、 $\pm 10\text{mm}$ 加振時の壁面変位を示す。非制振時において壁面変位は最大 $+2.0\text{mm}$ 、次の谷で -1.7mm と振幅 3.7mm 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、壁面変位は最大 $+1.5\text{mm}$ 、次の谷で -1.6mm と振幅で 3.1mm と約16%低減している。

また、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。

(3) 動液圧分布

図-11に1次モード0.60Hz加振時の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。

4.2 神戸 NS 波 56%相当加振

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）の実験を行う。ここでは神戸 NS 波の入力を試みたが、大型振動装置の能力の関係から、出力振動台変位最大 56%相当で加振する。

ここでの設定条件での加振時の最大加速度と地震震度階級は、神戸 NS 波変位 56%において

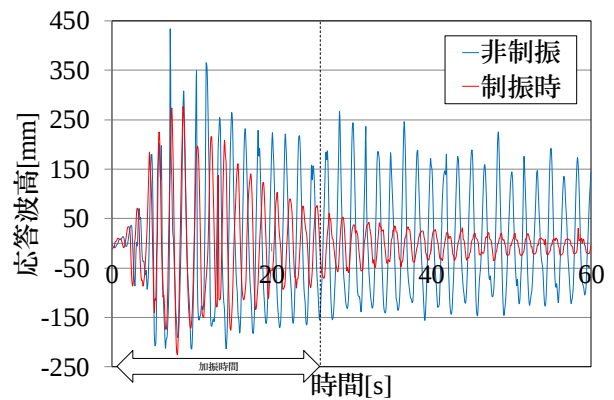


図-12 神戸 NS 波 56%相当加振時の応答波高

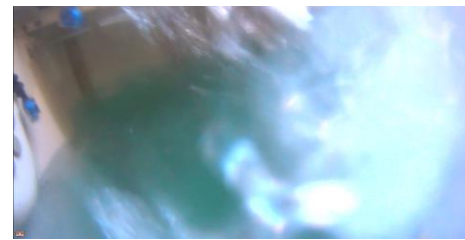


写真-7 神戸 NS 波 56%相当の非制振



写真-8 神戸 NS 波 56%相当の制振時

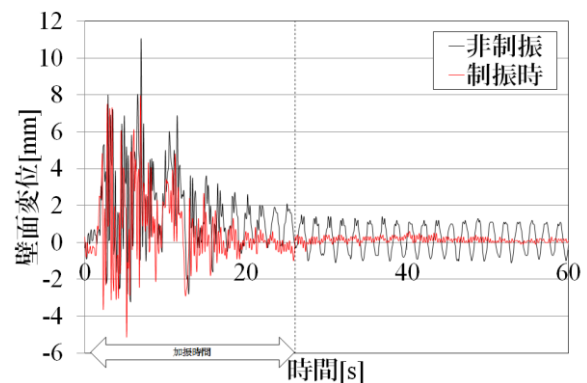


図-13 神戸 NS 波 56%相当加振時の壁面変位

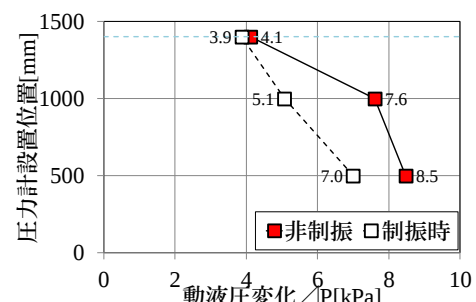


図-14 神戸 NS 波 56%相当加振時の壁面における動液圧分布

410Gal相当で震度6強程度である。なお、最大加速度に対する地震震度階級は気象庁公式サイト内の「震度の算出方法」¹⁶⁾を目安にしたものである。

(1) 応答波高

図-12 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-12 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が 0.0051、制振時が 0.0203 と約 4.0 倍に増加している。

写真-7 に神戸 NS 波 56%相当非制振、写真-8 に神戸 NS 波 56%相当制振時の内部写真を示す。この写真を比較すると、写真-7 の非制振ではカメラに水が激しく被っているのが見受けられるが、写真-8 の制振時ではカメラに水は被らずさざ波程度で波高を抑制できていることがわかる。

(2) 壁面変位

図-13 に神戸 NS 波 56%相当加振時の壁面変位を示す。非制振時の壁面変位は最大+11.0mm、次の谷で-3.2 mm と振幅で 14.2mm の壁面変位を示している。この結果と比較し、制振時では、壁面変位は最大+7.6 mm、次の谷で-5.2mm と振幅で 12.8mm の壁面変位と約 10%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。

(3) 動液圧分布

図-14 に神戸 NS 波 56%相当加振時の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時を比較すると、圧力計設置位置 1,000mm 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。但し、これに関しては今後改めて確認を行う必要がある。

5. おわりに

本論文は、地震時にタンク内容液のスロッシング現象などによって貯水槽に破損が発生していることに鑑み、貯水槽内部に制振装置を設置したその被害を低減させることを試みた。ここでは、2×2×2mFRP製タンクである実機貯水槽を使用した振動実験を行い、本論で提案する 8 の字型浮体式制振装置の効果を検証した。

8 の字型浮体式制振装置を設置した場合、最大波高は正弦波 1 次モード加振において 35～50% 程度低減した。減衰定数については 0.010～0.012 となり、約 8～10 倍となることを確認した。また、神戸 NS の地震波を入力した場合においても同様な制振効果を確認することができた。さらに正弦波加振時と地震波加振時のスロッシングによる水面付近の動液圧変化を低減することを確認した。これにより、提案する 8 の字型浮体式制振装置が、スロッシング現象に対して抑制効果が十分にあると判断する。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、これにより震災時にライフラインである水を確保して減災につながることを考えると考える。

今後の検討課題としては、施工性のさらなる向上を目指し、接続部材をできる限り使用しない等の改良が挙げられる。さらに、貯水槽は FPR 製、SUS 製、鋼板製等の構造形式によって様々な部材がタンク内部に配設されているため、それらに影響なく設置するための制振装置の施工方法の検討を行い、汎用化を目指すことである。ところで、地震波加振で生じるバルジング現象については、制振装置を付加することで、動液圧変化の値を低減させて抑えることができたので、本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可能性が高い。但し、これに関してはバルジング振動発生域での振動実験を改めて行い、確認をする必要がある。

謝 辞

振動実験を行うに際し、中央大学理工学部都市環境学科及び同大学院理工学研究科土木工学専攻と愛知工業大学都市環境学科及び同大学院理工学研究科建設システム専攻の学生諸君から協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。最後に本研究の一部は、(独)日本学術振興会科学研究費・基盤研究 (C) (研究代表者：平野廣和) ならびに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) 平野廣和, 井田剛史, 石川友樹: 既存貯水槽の耐震性向上のための制振装置の開発, 第7回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演論文集, 2016.12.
- 2) 井上涼介, 坂井藤一, 大峯秀一: 2011年東北地方太平洋沖地震における水槽の広域被害および地震動特性との関連の分析, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, pp. 764-773, 2015.7.
- 3) 厚生労働省健康局水道課: 東日本大震災水道施設被害状況調査報告書(平成23年度災害査定資料整理), 2012.12.
- 4) 水上邦夫: 東日本大震災によせて一水槽の被害一, (社)埼玉建築設計監理協会会報, pp.10-15, No.110, 2012.3.
- 5) (社)リビングアメニティ協会給水タンク委員会: 東日本大震災における給水タンク調査, ALIA NEWS No.128, pp.4-9, 2012.5.
- 6) 東京電力株式会社: 柏崎刈羽原子力発電所 1~7号機 原子炉建屋オペレーティングフロアにおける溢水について, 健全委第10-5号, 参考資料1, 2008.9.
- 7) 消防研究所: 平成15年(2003年)十勝沖地震に際して発生した出光興産(株)北海道製油所原油タンク火災に係わる火災原因調査報告書, 2004.3.
- 8) 坂井藤一: 2003年十勝沖地震における浮き屋根子規タンクの被害について, 日本鋼構造協会, JSSC, No.52, 2004.4.
- 9) 井田剛史, 平野廣和, 有田新平, 佐藤尚次, 奥村哲夫: スロッシング発生時の貯槽浮屋根挙動の一考察-φ4000タンクモデルでの振動実験, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.3, pp.444-453, 2007.6.
- 10) 座間信作, 山田實, 西晴樹, 廣川幹浩, 平野廣和, 鈴木森晶: 石油タンクのスロッシングによる内容液の溢流の算定, 消防研究所報告, 第101号, pp.14-20, 2006.9.
- 11) 酒井理哉, 東貞成, 佐藤清隆, 田中伸和: 溢流を伴う矩形水槽の非線形スロッシング評価, 構造工学論文集 vol.53, pp.597-604, 2007.3.
- 12) 曾根龍太, 小野泰介, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 矩形断面貯水槽におけるスロッシング制振対策の検討, 土木学会論文集 A2 分冊(応用力学)特集号, Vol.16, pp.833-843, 2013.8.
- 13) 小野泰介, 曾根龍太, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 受水槽のスロッシング対策のための浮体式制振装置の開発, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.70, No.2, pp.621-629, 2015.2.
- 14) 則竹一輝, 鈴木森晶, 奥村哲夫, 佐口浩一郎, 倉橋奨: 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, pp.785-794, 2012.8.
- 15) G.W.Housner: The Dynamic Behavior of Water Tank, Bulletin of The Seismological Society of America. Vol.53, 1963.
- 16) <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>: 気象庁ホームページ

(2017. 9. 1 受付)

DEVELOPMENT OF 8-SHAPED FLOATING DAMPING DEVICE FOR EARTHQUAKE RESISTANCE IMPROVING RESERVOIR

Taisuke ONO, Akira KAWATA, Tsuyoshi IDA, Hirokazu HIRANO and Tomoki ISHIKAWA

In the Kumamoto earthquake and the Great East Japan Earthquake, in addition to public facilities such as hospitals, reservoirs such as apartment houses were damaged more than the sloshing phenomenon caused by long-period seismic motion and caused a tremendous influence on the lives of citizens. In order to prepare for the large earthquakes occurring in the near future and the direct type earthquake etc., it is necessary to grasp the dynamic behavior of the reservoir to reduce the sloshing phenomenon in order to secure the lifeline at the time of earthquake disaster. In a previous study by the authors, the panel type vibration damping device demonstrated the effect of reducing sloshing on the water tank. However, the workability of the vibration damping device was poor, and it took a lot of time and effort in construction. Therefore, in this research, we improved the workability and devised a method to assemble the panel into a figure 8 shape. Experimental experiments were carried out in an actual water reservoir to verify the workability of this vibration damping device and the effect of reducing sloshing. As a result, it was found that the workability is remarkably superior to that of the conventional vibration damping device, and also the wave height reduction effect of the same level as the wave height reduction rate is exhibited as in the conventional case.