

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

○ (株)十川ゴム 正会員 河田 彰 (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 学生会員 小野 泰介

1. はじめに

東日本大震災では、病院などの公共施設の他、集合住宅などにも設置されている貯水槽が、スロッシング現象などが原因で破壊される被害が多数発生した。これらの貯水槽はライフラインとして重要な役割を担っており、被害が生じると生活に大きな影響を及ぼすことが想定される。したがって、近い将来発生するとされている海溝型巨大地震や直下型地震等に備え、矩形貯水槽の動的な挙動を把握し、ここで生じるスロッシング現象を制振することは、地震災害発生時のライフライン確保に必要なことであり、社会的にも大きなニーズがある。既往の研究¹⁾において、パネル式ダンパー（以下、ダンパー）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。しかしながら、ダンパーの施工性が悪く、施工に手間がかかるという課題が見られた。そこで本研究では施工性を向上させるために、ダンパーを8の字形で組み立てる方式を考案し、実機貯水槽にて加振実験を行い、このダンパーの施工性とスロッシング低減効果の検証を行う。

2. 実験概要

2.1 ダンパー施工設置方法

本実験では、図-1に示す鋼板製一体型タンク（以下、タンク）を使用する。
なお、タンク内寸は3,000×3,000×3,000mmである。次に本タンク内に設置するダンパーは、図-2に示す柔軟性のある特殊ポリエチレン樹脂製パネルを図-3に示すように8の字状に曲げてボルトで接合し製作・設置する。また、制振効果の差を比較するため、ダンパーを2段（図4-1）及び3段（図4-2）に重ねて組み立て、それぞれのパターンにて実施する。ダンパー組み上げ後、タンク内に水を入れ、ダンパーを浮遊させて施工完了とする。本施工方法の場合、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、施工に3～5時間要し、寸法調整が難しかった既往のダンパー¹⁾に比べ施工性が大幅に改善された。

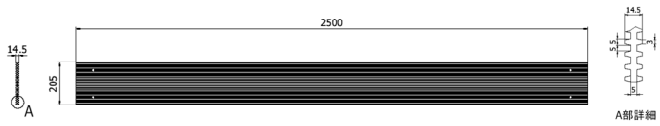


図-2 ダンパーパネル概略図



図-1 鋼板製一体型タンク



図-3 ダンパー施工の様子

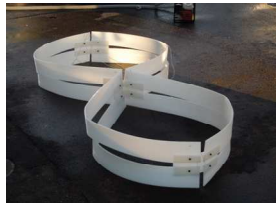


図 4-1 2 段型ダンパー



図 4-2 3 段型ダンパー

2.2 実験概要

図-1に示すタンク内に通常の設定水位である水深2,700mm（内容量90%）まで水を満たし、愛知工業大学と中央大学が2013年12月に共同で製作した専用の大型振動装置を用いて加振実験を行う。実験条件としては、表-1に示す1次及び2次のスロッシングモードである0.50 Hz及び0.88 Hzの正弦波に加え、1995年に発生した兵庫県南部地震の神戸海洋気象台で観測されたNS方向の地震波を10%及び50%変位に調整したもの（以下、神戸波）を用いる。そして、ダンパーの減衰性能を確かめるために、図-5に示すように設置したレーザー変位計とWebカメラでタンク内の液面波高と自由減衰振動を比較確認する。

表-1 実験条件

入力波（振動数）	振幅
1次モード(0.50 Hz)	±3 mm, ±5 mm,
2次モード(0.88 Hz)	±3 mm, ±5 mm,
JMA 神戸	NS10 % NS50 %

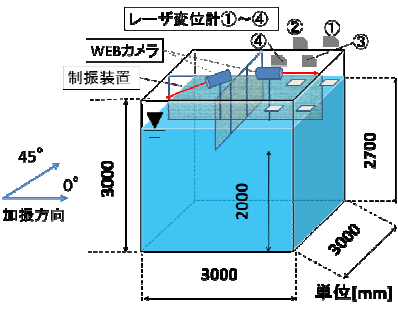


図-5 機器設置図

*1 加振方向角は0°で実施
*2 神戸波については非制振時の内容液の揺動が激しく、レーザー変位計での計測が困難なため、Webカメラでの比較確認とする。

3. 実験結果

3.1 ダンパーによるスロッシングの波高低減効果について

図 6-1 及び図 6-2 に振幅±5 mm の 1 次モード及び 2 次モードにおける波高の時系列波形を示す。本結果では、ダンパーを設置することで最大波高を 50%以上抑制し、加振終了後速やかに減衰していることが確認できる。各加振条件における最大波高とその波高低減率については、表 -2 に示しておく。ここでダンパー 2 段型と 3 段型と比較すると、2 次モードに関しては、双方とも波高低減効果が非常に高く、大きな差異は見られないが、1 次モードにおいては、3 段型の方が 2 段型に比べて 20%程度波高低減効果が高くなっている。これは、既往の研究^{2), 3)}から 1 次モードのスロッシングによる動液圧が水面付近で高くなり、水面下にダンパーを設置する差込長によって対数近似的に波高低減効果が得られることが判っており、本実験でも 3 段での差込長 590mm に対して、2 段では 345mm と設定されたことによる性能差であることから、設計時に必要とする波高低減量に対して最適な差込長を設定することで、ダンパーの制振効果が見積もれることを示唆するものである。

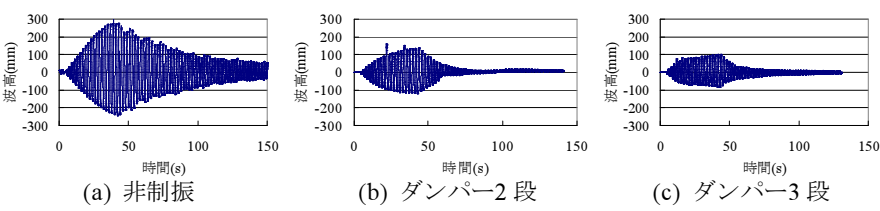


図 6-1 1 次モード（振幅±5 mm）における波高

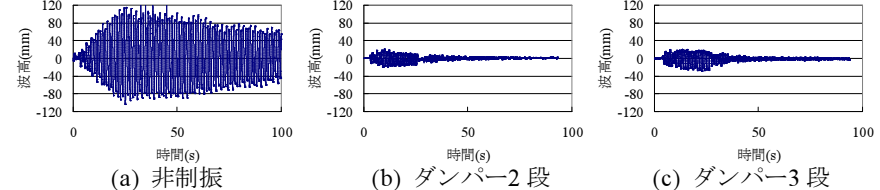


図 6-2 2 次モード（振幅±5 mm）における波高

表-2 最大波高（非制振時に対する波高低減率）

モード	1 次モード		2 次モード	
	±3 mm	±5 mm	±3 mm	±5 mm
非制振	205 mm	276 mm	76 mm	115 mm
ダンパー 2 段	83 mm (60 %)	136 mm (51%)	14 mm (82 %)	21 mm (82 %)
ダンパー 3 段	61 mm (70 %)	100 mm (64 %)	12 mm (84 %)	21 mm (82 %)

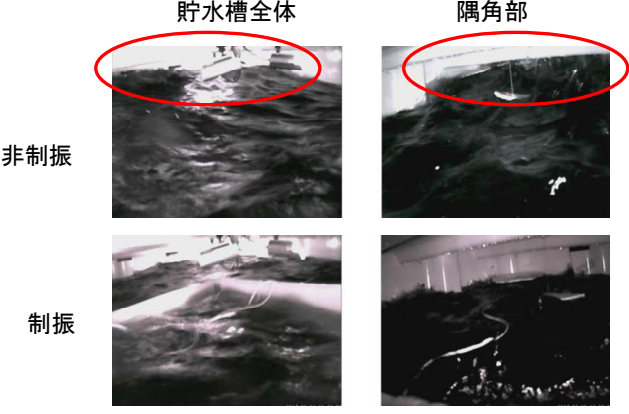


図-7 神戸波入力時のタンク内の挙動

次に神戸波での比較では、ダンパーを設置しない場合、液面揺動が激しく正確な波高の計測が困難なため、Web カメラによる映像比較での結果を図-7 に示す。ダンパーを設置しない場合、神戸波の入力によって、液面が大きく揺動し、タンクの隅角部を中心に天井に内容液が衝突していることが確認できる（図-7 赤丸部）。一方でダンパーを設置した場合、タンク内の液面揺動が抑制され、内容液が天井部に衝突することはなく、加振終了後に速やかに液面揺動が減衰する様子が確認できた。このことからダンパーを設置することによって制振効果が得られていることが分かる。

4. おわりに

地震時にタンク内溶液のスロッシング現象などによって受水槽が破損する被害が発生していることから、ダンパーでその被害を低減させることを試みてきた。本研究では従来のダンパーの施工性を改良した 8 の字型ダンパーの施工性及び 2 段型と 3 段型ダンパーでの制振効果の比較確認を行い、以下の知見を得ることができた。

- (1) 8 の字型ダンパーは従来のダンパーよりも格段に施工性が良く、また従来のダンパーの波高低減率 (51~67%) と同等レベルの波高低減効果を発揮した。
- (2) 8 の字型ダンパーを差込長の異なる 3 段型及び 2 段型と比較すると、既往の研究³⁾と同様の波高低減率変化の傾向を示し、最適なダンパー設計を行う上での有効なデータ採取ができた。

今後の課題として、貯水槽 (FPR, SUS パネル等) は様々な部材や構造物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ダンパー施工方法の検討を行い、実用化を目指す。

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 (B) の給付を受けたことを付記する。

参考文献

1) 曾根他：矩形断面受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, 2013.8
2) 小野泰介 他：スロッシング発生時に貯水槽壁面が受ける動液圧変化に関する実物実験，地震工学論文集, Vol.33, 2014.
3) 井田他：受水槽のスロッシング被害を想定した制振装置検討のための基礎的実験，第 67 回土木学会年次学術講演会，I-437