

実物大貯水槽における耐震性能向上のためのフィルター設置に関する実験的研究

An Experimental Study on the Filter Installation for Upgrading Seismic Performance of Real Scale Water Tank

青木大祐*・鈴木森晶**・黒田亮***
Daisuke AOKI, Moriaki SUZUKI and Ryo KURODA

* 株式会社森松総合研究所 (〒501-0417 岐阜県本巣市屋井 1057 番 1)

** 博(工) 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八草 1247)

*** 修(工) 東海旅客鉄道株式会社(研究当時: 愛知工業大学大学院) (〒108-8204 東京都港区港南 2-1-85 JR 東海品川ビル A 棟)

Key Words : real scale water tank, upgrading seismic performance, sloshing wave, seismic wave

1. はじめに

我が国では 2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0)において、水道施設、病院および学校などに設置されている SUS 製や FRP 製の矩形貯水槽(以下、貯水槽)に破損が多く発生した。

筆者ら^{1),2)}は、これまでに貯水槽にフィルターを水面に対して鉛直方向に設置することで、簡易に耐震性能を向上させる手法を提案してきた。しかし、既設の貯水槽においては、貯水槽の形状および内部の補強材の有無により、任意の形態の設置が困難な場合が想定される。

そこで本研究では、簡易な方法で貯水槽の耐震性能を向上させる手法の提示をすることを目的として、フィルターを用いたスロッシング波高抑制手法の検討を行った。貯水槽内部の構造により、任意の形態に設置できない場合を想定し、模型槽実験で設置形態および位置を種々変化させ、それらの影響を明らかにした。また、そこで得られた簡易かつ効果的にスロッシング波高を抑制できた手法が実物大の貯水槽においても同様な手法で発揮することができるのか検証した。

2. 実験計画

2.1. 実験パラメータの設定

本実験では、幅 L 、奥行き D および高さ h がそれぞれ 3000mm の FRP 製貯水槽を使用し、水深 H は常用水深である 2000mm とした。フィルターは(株)吉原化工製のもやいドレンマットを採用した。貯水槽の耐震性能向上方法として、模型槽実験の結果およびフィルター設置の制約条件を考慮し、図-1 に示す 4 つの設置パターンを設定した。

2.2. 実験条件の設定

本実験では、屋外大型振動台を使用し、正弦波および地震波加振を行った。正弦波加振の場合、予めスイープ試験で求めたスロッシング 1 次および 2 次固有振動数を入力した。加振振幅 $s = \pm 7\text{mm}$ 、加振時

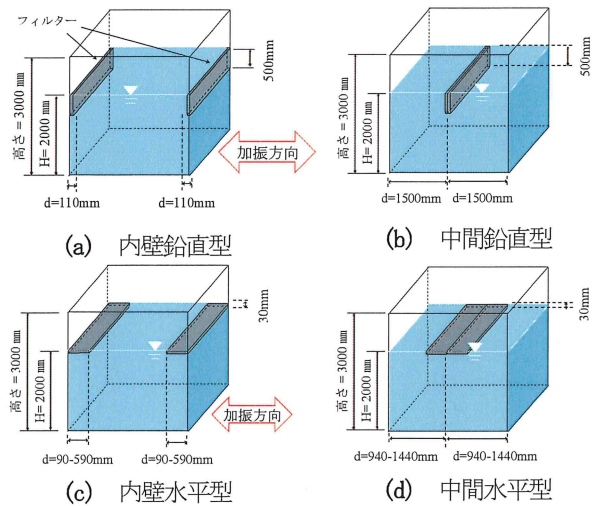


図-1 各フィルターの設置パターン

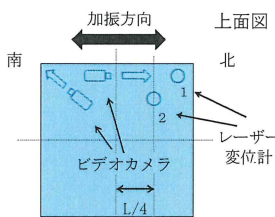


図-2 レーザー変位計の位置

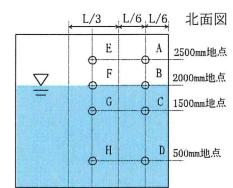


図-3 圧力計の位置

間は 40sec とした。地震波加振の場合、兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された NS 方向(以下、神戸 NS)の変位を 50%にした地震波を入力した。

2.3. 計測項目

波高計測は、貯水槽上部に設置した 2 台のレーザー変位計を用いて行った(図-2 参照)。また、図-3 に示すように A~H の地点、計 8 箇所に圧力計を設置して、内容液による動液圧を計測した。

3. 実験結果

3.1. 実物大貯水槽と模型槽の実験結果の比較(正弦波)

本実験は表-1 に示すパラメータを組み合わせて行った。図-4 および 5 には正弦波加振時における貯水槽および模型槽(L=1800mm)を用いた場合の波高抑制効果を示す。縦軸は最大波高 ΔH を、横軸は各フィルターの設置パターンを示す。なお、模型槽は幅 L=1800mm, 奥行き D=587mm, 高さ h=896mm である。

図-4 より、1 次モードにおいて、水平型を採用する場合、両槽ともフィルターの設置位置を内壁に設定することで波高抑制効果はより大きくなることがわかる。また、鉛直型を採用する場合、両者ともフィルターの設置位置を中間位置に設定することで波高抑制効果はより大きくなる。

図-5 より、2 次モードでは 1 次モードとは異なり、両槽とも各設置形態において設置位置を変えたことによる波高抑制効果には明確な差異は見られない。

3.2. 各設置パターンにおける動液圧の比較(地震波)

図-6 に、神戸 NS50%相当の地震波を入力した場合における非制振および各設置パターンを採用した場合の内壁面に作用する動液圧の変化を示す。なお、図-6 の動液圧とは図-3 で示す E~H の地点の動液圧である。

図-6 より、地震波を入力した場合、非制振と比較して、動液圧に差がほとんど見られない。特に、水深が深い位置の動液圧が高いことが認められる。これは、箕輪らが指摘している貯水槽の壁面と内容液が連成して振動するバルジング現象が発生するためと考えられる³⁾。

なお、貯水槽の内部映像を見る限り、バルジング現象を発生させるような内容液全体の液面揺動に加えて、スロッシング現象による内容液が上下動する液面揺動も確認できた。したがって、地震動を入力した際、貯水槽にはスロッシング現象とバルジング現象が連成していると考えられる。

4. おわりに

フィルターを用いたスロッシング波高抑制手法について実験的に検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 模型槽実験で得られた簡易かつ効果的にスロッシング波高を低減できた手法は、実物大貯水槽においても効果を発揮することができ、耐震性能を向上させる手法であると考えられる。
- (2) フィルターの設置形態として、貯水槽の内壁付近に設置が可能な場合は水平型に、中間位置に設置が可能な場合は鉛直型にすることが望ましい。
- (3) 地震波を入力した場合、本研究で採用した波高抑制手法ではバルジング現象による動液圧を抑制できない。

スロッシング現象およびバルジング現象を効果的に抑制し、貯水槽の耐震性能をさらに向上させる手法の検討が今後の課題である。

表-1 実験パラメータ

フィルターの設置形態	鉛直型, 水平型
入力波形	正弦波(1次モード: 0.475Hz) 正弦波(2次モード: 0.855Hz) 地震波(JMA神戸NS50%)
フィルターの設置パターン	非制振 内壁水平型(d=90-590mm) 中間水平型(d=940-1440mm) 内壁鉛直型(d=110mm) 中間鉛直型(d=1500mm)
ケース数	15ケース

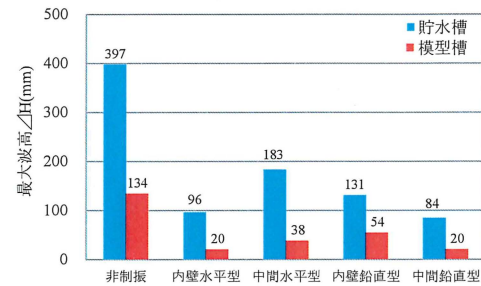


図-4 貯水槽および模型実験の比較(1 次モード)

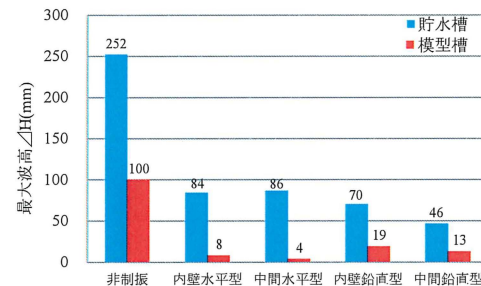


図-5 貯水槽および模型実験の比較(2 次モード)

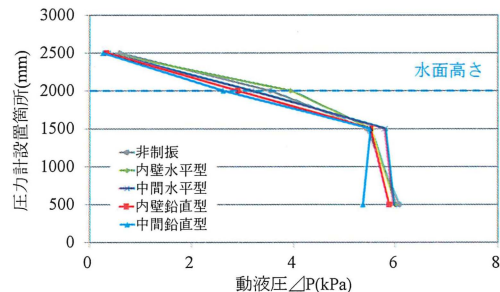


図-6 内壁面に作用する動液圧(地震波)

参考文献

- 1) 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, 土木学会論文集 A2 分冊(応用力学)特集号, Vol.15,I_785-I_794,2012.8.
- 2) 日比野広之, 鈴木森晶, 奥村哲夫: 実物大貯水槽のスロッシング現象と波高抑制効果手法に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会, I-025,pp.49-50,2013.9.
- 3) 箕輪親宏, 清水信行, 鈴木純人: 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)68 巻 668 号,pp.1056-1063,2002.4.