

## 実物大貯水槽のスロッシング現象と波高抑制手法に関する研究

愛知工業大学 ○学生会員 日比野広之  
 愛知工業大学 正会員 鈴木森晶  
 愛知工業大学 正会員 奥村哲夫

### 1. 序論

近年、地震に起因するスロッシング現象による被害が数多く報告されている。2003年の十勝沖地震(M8.0)では、石油タンクの全面火災。2007年の新潟県中越沖地震(M6.8)では、柏崎刈羽原子力発電所6号機原子炉建屋の使用済み核燃料プールの溢流事故。2011年の東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、病院やマンション等に設置されている、貯水用の比較的小規模な貯水槽についての被害が報告されている。

そこで本研究では、貯水槽として使用されている実物大貯水槽を使用し、小型貯槽の実験結果<sup>1)</sup>を基に、加振角度、振動数、加振条件などの違いにより、実物大貯槽におけるスロッシング現象の挙動を詳細に把握し、小型貯槽の実験で使用したスロッシング波高抑制材を実物大貯水槽に設置した場合でも波高抑制効果があるかを検討する。

### 2. 実験計画

#### 2.1 実験概要

写真-1のように縦、横、高さ3.0mのステンレス製実物大貯槽(以下、L3000mm貯槽)を使用し、波高抑制材を設置しない状態(以下、非制振)と、波高抑制材を設置した状態(以下、制振)について加振実験を行い、波高抑制効果を検討する。L3000mm貯槽に設置する波高抑制材は、写真-2に示すように縦、横1m、厚さ25mmのプラスチック繊維を用い、写真-3のようにL3000mm貯槽内壁に設置する。

#### 2.2 実験方法

実験は大型振動台にL3000mm貯槽を載せ、水深を2.7m(常用水深)に設定し、正弦波加振した。振幅 $\pm 3.0\text{mm}$ まで徐々に振幅を増加して行き、振幅が $\pm 3.0\text{mm}$ になったところで、10秒間波高を計測した。静水面から加振時の最大波高までを $\Delta H$ とし、これを観測した。

#### 2.3 実験条件

表-1にL3000mm貯槽での実験パラメータを示す。図-1はL3000mm貯槽を上から見た模式図である。入射角 $\theta$ は $0^\circ$ および波高が最も高くなる $45^\circ$ で行う。振動数は一次モード(0.49Hz付近)と、実際の地震波の成分を多く含む二次モード(0.87Hz付近)の2ケースで加振する。図-2に波高抑制材の設置箇所の模式図を示す。L3000mm貯槽の側面の幅、高さを3分割し、上から上段・中段・下段とする。波高抑制材の設置箇所は、小型貯槽での実験<sup>1)</sup>より、水面付近に設置すると、波高抑制効果が高い事がわかっているので、上段に設置し実験を行う。また、波高抑制材の厚さは、25mm、50mm、75mmを用いた。貯槽の幅Lに対する波高抑制材の寸法比はそれぞれ1.7%、3.3%、5.0%となる。



写真-1 実物大貯水槽



写真-2 プラスチック繊維

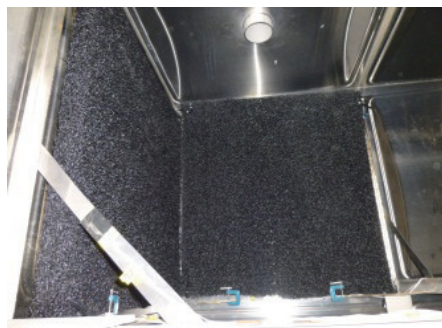


写真-3 抑制材設置時のタンク内部

表-1 L3000mm貯槽実験パラメータ

実物大貯水槽	L3000mm貯槽
振動数	一次モード(0.49Hz) 二次モード(0.87Hz)
加振方向角	$0^\circ$ 、 $45^\circ$
波高抑制材 設置箇所	上段四隅、上中段四隅、 上段全面
幅Lに対する 波高抑制材厚さ	1.7%(25mm)、3.3%(50mm)、 5.0%(75mm)
合計	12 ケース

キーワード スロッシング、貯水槽、波高抑制、加振角度、二次モード

連絡先：〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247 TEL：0565-48-8121、FAX：0565-48-0030

3. 実験結果

3.1 一次モードおよび二次モードの実験結果

図-3 に一次モードにおいて、波高抑制材の寸法を 1.7%(25mm), 3.3%(50mm)および 5.0%(75mm)とした場合の最大波高と入力振動数の関係を示す。縦軸には、最大波高/H(mm)を、横軸には入力振動数(Hz)とする。

図より、幅 L に対する波高抑制材の寸法比を大きくしていくと、波高抑制効果が大きくなっていることが分かる。また、加振方向角によらず、貯槽の幅 L に対する波高抑制材の寸法比が 1.7%の場合、最大波高を約 3 割程度抑制する効果を得られた。3.3%にした場合は、最大波高を 4 割程度抑制する効果を得られた。同様に 5.0%にした場合、最大波高を約半分以下に抑制する効果を得られた。

図-4 に二次モードにおいて、波高抑制材の寸法を同様に変化させた場合の最大波高と入力振動数の関係を示す。一次モードと二次モードでは加振時の波形が異なり、二次モードでの加振時に、最大波高が波高抑制材の設置されている場所とは異なる場所で発生し、波高抑制効果が得られない可能性があった。しかし、加振方向角によらず、幅 L に対する波高抑制材の厚さを 3.3%とした場合、最大波高を約 7 割程度抑制する効果を得られた。また、波高抑制材の厚さを 5%(75mm)にしても、一次モードと違い、波高抑制効果に大きな差は見られなかった。

3.2 小型貯槽と実物大貯水槽の比較

図-5 に小型貯槽と L3000mm 貯槽を用いた場合の波高抑制効果を示す。縦軸には貯槽と実験条件の違い、横軸には非制振の最大波高を 100%とした場合の、非制振に対する波高抑制効果を示す。

図より、小型貯槽(L450-10%および L900-10%)においては、どちらも 5~7%前後の波高となり、幅 L に対する波高抑制材の厚さの比率を同一にすることで、同様な波高抑制効果が得られることを確認した。一方で、小型貯槽(L900-5%)および実物大貯槽(L3000-5%)を比較すると、幅 L に対する波高抑制材の厚さが 5%の場合、波高抑制効果に約 3 倍の違いが見られた。その原因として、水深や貯槽の構造および材質の差などの他に、L450mm 貯槽と L900mm 貯槽では、振幅±0.5mm で加振を行ったのに対し、L3000mm 貯槽では±3.0mm で加振を行っていることが挙げられるが、単純に寸法の比率や加振力の差で論じることが出来ない。この点については今後の課題である。

4. 結論

- 1) 実物大貯水槽においても、小型貯槽の実験で効果のあったプラスチック繊維を波高抑制材として設置することによって、波高抑制効果が得られた。
- 2) 一次モードと同様の波高抑制対策により、二次モードでも効果が得られることが分かった。
- 3) 小型貯槽と実物大貯水槽における波高抑制効果は、単純に寸法の比率などとは一致しない。今後の課題である。

謝辞：本研究は科学研究費(基盤研究(C)22560486 代表:平野廣和)および愛知工業大学耐震実験センター研究助成金を得た。ここに感謝の意を表す。

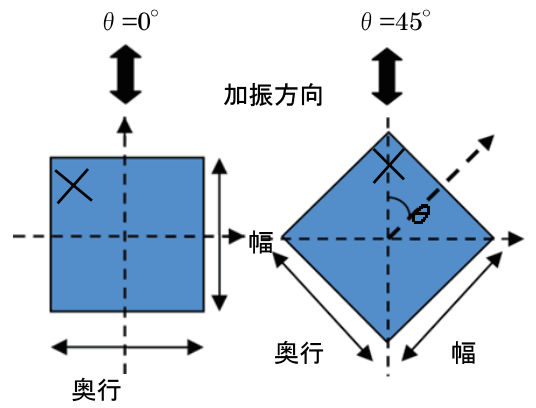
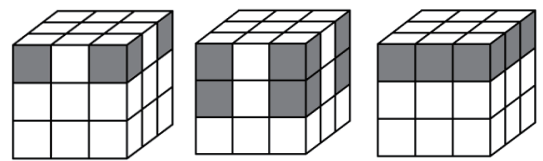


図-1 L3000mm 貯槽の加振方向角



(a)上段四隅 (b)上中段四隅 (c)上段全面

図-2 波高抑制材設置箇所

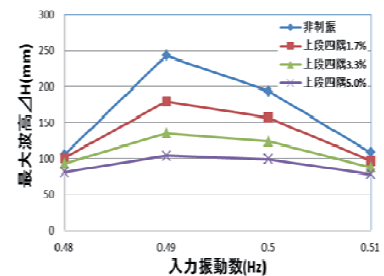


図-3 最大波高一入力振動数関係(一次モード)

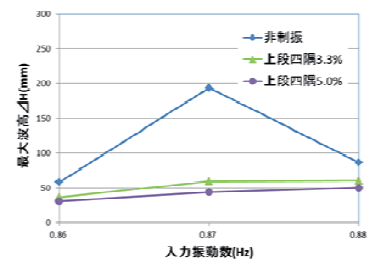


図-4 最大波高一入力振動数関係(二次モード)

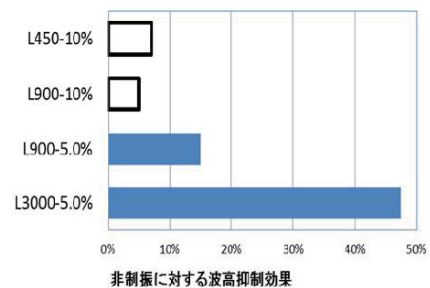


図-5 小型貯槽と L3000mm 貯槽の比較

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, 応用力学論文集, Vol.15, I\_785-I\_794, 2012.8.