

矩形容器のスロッシング対策のための制振装置の検討

○中央大学 学生員 塩野谷 遼 (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 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

地震時に矩形の貯水タンクが加振されることによって、スロッシング現象が引き起こされ、貯水タンクの破損などの被害が報告されている。この種の被害を防ぐために、我々の研究グループでは波高の上昇を抑えるための制振装置を考案することを目的としている。既往の研究¹⁾²⁾では、壁面部へポリエチレン製の人工芝を付加したものや、固定式の金網を組んだもの、樹脂性チューブを用いたものなどにより研究が行われてきた。その中でも写真-1に示す穴開きの制振装置は、制振効果や施工の容易さなどを考慮すると、もっとも制振効果も高く、実用化に近い形状となった。しかし、穴を空けることによる衛生上の問題やコスト面が考えられた。それを解決するために、写真-2に示すスリット状の制振装置を新たに提案するに至った。

そこで本研究では、スリット状の制振装置について小型の矩形容器を用いた模型実験を行い、スロッシング挙動の把握と穴開き制振装置との制振効果の比較・検討を行う。

2. 実験概要

2.1 計測項目

加振実験は、438mm×438mm×394mmの亚克力製矩形断面容器を用い、水深200mmまで水を注水し実験を行う。応答波高の計測は、レーザー変位計（以下、変位計）を使用し、変位計は、容器の角から40mm離れたところにレーザーが当たるように設置する。写真-3に実験状況を示す。加振方向角 θ は図-1に示すように定義し、 $0^\circ \sim 45^\circ$ の間を 15° 間隔毎に変化させて加振実験を行う³⁾。ここで今回は正弦波のみを加振し、振幅を片方向3mmで行う。入力振動数については、矩形断面容器のスロッシング n 次モード振動数を式(1)のHousnerの式より算出する。

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

ここで、 f_n はスロッシング振動数、 L は容器内壁間の幅、 H は水深である。これから容器の固有振動数は1次モード1.3Hz、2次モード2.3Hzとなる。また、制振装置を付加したことにより、制振装置の形状上、容器内の区間が1/4に仕切られるため、そのときの固有振動数である1次モード1.9Hz、2次モード3.3Hzを入力振動数とし、1/4区画における共振の検討も行う。以上の実験条件をまとめたものを表-1に示す。

2.2 制振装置

本研究で使用する制振装置は、写真-2に示すように田の字型に組んだものを立体的にしたものであり、縦方向や横方向に等間隔にスリットを設けている。これによって、懸念されていた衛生上の問題にも対応でき、スリットからの水の往来も可能である。さらに、制振装置を浮



写真-1 穴開き制振装置

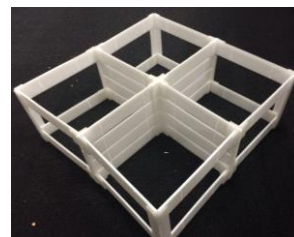


写真-2 スリット状制振装置

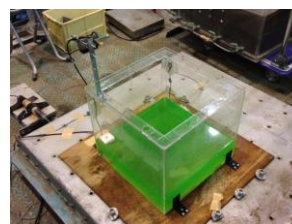


写真-3 実験状況

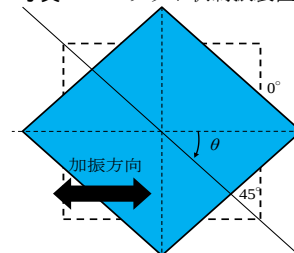


図-1 加振方向角の定義

表-1 実験条件

	1次モード	2次モード
容器内壁間の幅L[mm]	438	
水深H[mm]	200	
容器全体の固有振動数[Hz]	1.3	2.3
1/4区画の固有振動数[Hz]	1.9	3.3
加振方向角[°]	0,15,30,45	
振幅[mm]	3	
入力波数	5	11

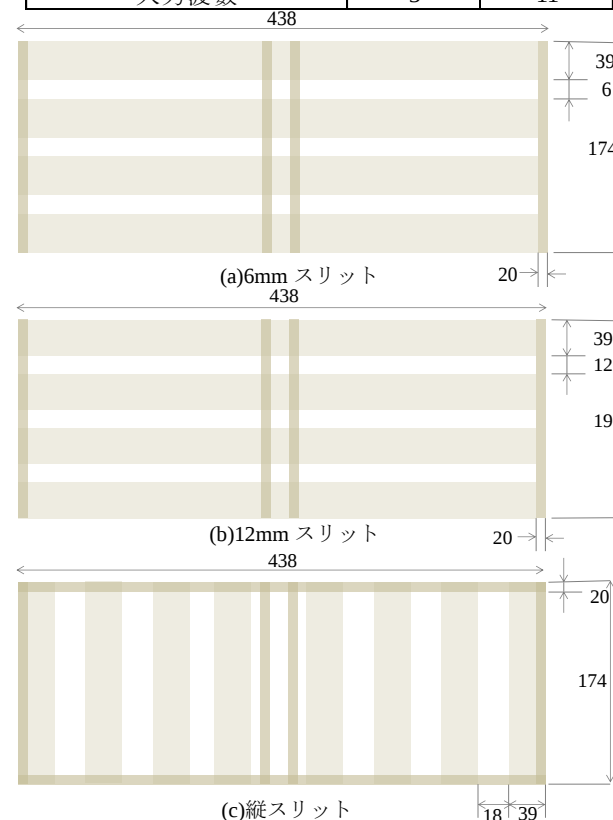


図-2 スリット状制振装置の概要

キーワード：スロッシング、制振、応答波高、加振方向角

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel. 03-3817-1816 fax. 03-3817-180

体式にすることによって、水深の変化にも対応することができる。また、スリットの方向や間隔も比較するため、図-2に示すような、横方向に6mm, 12mmの間隔を空けたスリットと、縦方向に18mmの間隔を空けたスリットの3種類を用いて、穴開き制振装置との制振効果の比較を行う。

3. 実験結果

3.1 容器全体の固有振動数 (1.3Hz, 2.3Hz の場合)

図-3(a)に1次モード、図-3(b)に2次モードの各加振方向角における、それぞれの実験条件での最大波高を示す。図-3(a)において、制振装置を付加することによって、非制振時に比べいずれも波高が低減されていることがわかる。特に、6mmスリットの最大波高は非制振時に比べると、約86%波高が低減している。また、穴開きの制振装置より、今回提案したスリット状の制振装置の方が、いずれの場合においても波高低減効果を示している。その中でも、6mmスリットの制振装置は穴開きの制振装置と比べると、約57%波高が低減している。図-3(b)の2次モードにおいても1次モードと同様に、スリット状の制振装置の方が、波高低減効果を有していることがわかる。また、加振方向角45°においてのそれぞれの応答波形を図-4に示す。これから制振装置を付加することによって、減衰効果も十分に有していることがわかる。これらのことから、制振効果を得るためには、細かな隙間を空けるよりも、適度な隙間をまとめて作ることが必要と考える。

3.2 容器1/4区画の固有振動数 (1.9Hz, 3.3Hz の場合)

制振装置によって容器を区切ることから、区切られている1/4区画においての固有振動数に共振するか否かを検討する。ここで、1次モード1.9Hz, 2次モード3.3Hzを入力振動数とし、加振実験を行い1/4区画においての共振の検討を行う。図-5(a)より1次モードでは6mmスリットの制振装置を付加することによって、非制振時の約17%波高が上昇しているが、それ以外の制振装置においては非制振時より波高が低く収まっている。また、最大波高が20mm以下に収まっていることから、非制振時と波高の差は、ほとんどないと考えられる。一方、2次モードでは制振装置を付加することには関係がなく、どれもほぼ同じ値となっている。図-6に示す加振方向角45°においての応答波形より、制振装置を付加することによって、すべての場合で減衰効果を有していることが確認できる。

4. おわりに

本研究では、これまでの研究で考案されていた穴開きの制振装置に衛生上の問題があることから、新たにスリット状の制振装置を提案した。その制振効果を確認するために、正方形断面容器に様々な種類の制振装置を用いて加振実験を行った。この実験結果から、スリット状の制振装置は、容器全体の固有振動数において穴開きの制振装置以上の制振効果を示すことがわかった。また容器の1/4区画においても6mmスリットの場合はわずかに波高が上がっているが、タンクの損傷に影響はないと考えられる。また、減衰効果においてはいずれの場合も十分に効果を示している。この結果からスリット状の制振装置においても、十分に制振効果を有していることが確認できた。

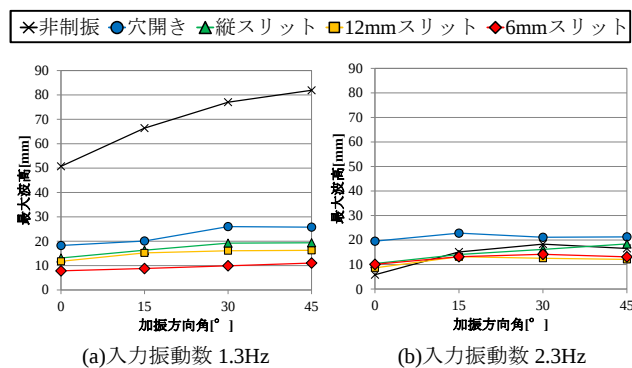


図-3 加振方向角と最大波高の関係

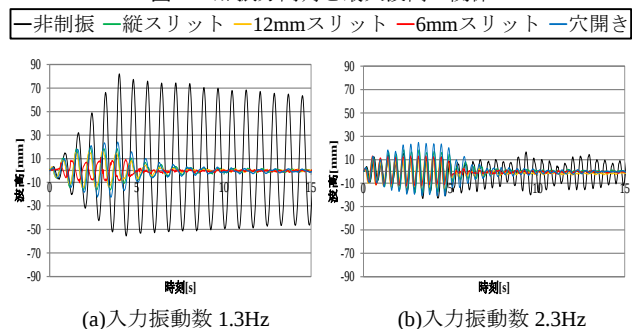


図-4 応答波形

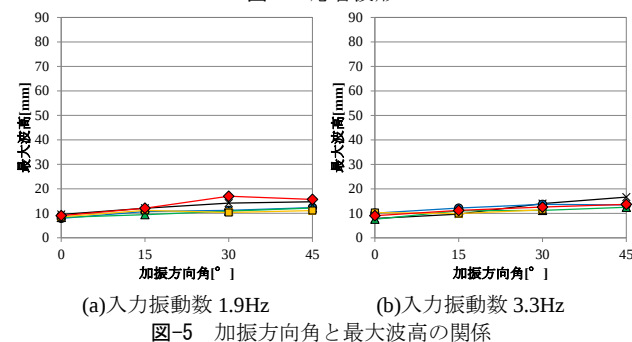


図-5 加振方向角と最大波高の関係

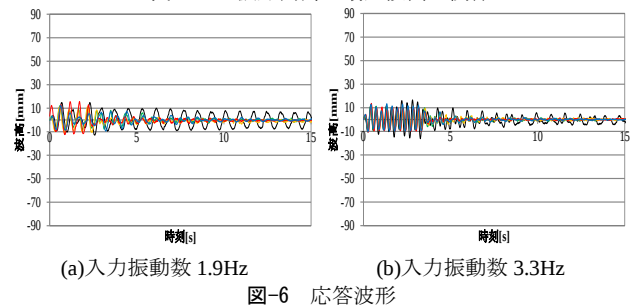


図-6 応答波形

今後は、今回提案したスリット状の制振装置を実機タンクに付加し加振実験を行う。その結果から、実機タンクにおいても同様の制振効果を示すか、詳細なデータから、確認を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は科学研究費・基盤研究 (B) 及び (独) 科学技術振興機構 A-STEP の給付を受けたことを付記する。

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: 矩形貯水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, Vol15, 2012.3
- 2) 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, 応用力学論文集, Vol16, 2013.8
- 3) 遠田豊, 井田剛史, 平野廣和, 佐藤尚次: 矩形断面容器において加振方向角を変化させた場合のスロッシング現象, 応用力学論文集, Vol15, 2012.8