

## 矩形水槽の固有振動数の変化に着目した波高抑制手法の提案

森松総合研究所 正会員 ○青木大祐 愛知工業大学正会員 鈴木森晶  
愛知工業大学(研究当時) 学生会員久保田拓也 愛知工業大学(研究当時)学生会員黒田亮

### 1. はじめに

我国は地震大国と呼ばれるくらい地震が多く発生する地域である。近年では、2003年に発生した北海道十勝沖地震(M8.0)、2007年の新潟県中越沖地震(M6.8)および2011年の東北地方太平洋沖地震(M9.0)が記憶に新しい。特に東北地方太平洋沖地震では、病院施設や学校などに設置されている矩形型貯水槽(以下、貯水槽)に破損が多く発生した。

筆者ら<sup>1), 2)</sup>は、貯水槽におけるスロッシング現象を抑制するための様々な手法を検討し、開口率の異なる金網を貯水槽の中間位置に設置することを提案した。その結果、金網の開口率を低くすることで、効果的な波高抑制効果が認められた。しかし、前報<sup>2)</sup>での金網の開口率は50～70%であり、開口率が低くなると槽内の水の流動挙動は隔壁とした場合に類似し、水の固有振動数が変化して波高抑制効果も変わるものと予想される。

そこで本研究では、貯水槽に設置することが容易であり槽の補強材ともなりうる既製のパンチングメタル板を制震装置として用いることを提案する。開口率を5～42%の範囲で変えたパンチングメタル板を矩形水槽の中間位置に設置して、固有振動数に及ぼす開口率の影響を明確にするとともに、波高抑制効果についても検討した。

### 2. 実験計画

#### 2.1 実験条件

写真-1に実験で用いた水槽を示す。水槽は、幅  $L=900$  mm、奥行き  $D=450$  mm および高さ  $H=450$  mm のガラス製で、水深は  $h=200$  mm とした。加振方向を写真-1に示す。内容水の溢流を防ぐため振幅を $\pm 5$  mm とした。また、水槽の前面にメジャーを貼り付け、ビデオカメラで波高を観測した。

パンチングメタルの開口率が0%に近づくにつれて、槽内での内容水の流動挙動は隔壁(幅  $L$  が  $450$  mm に分割される)の場合に類似する。そこで、 $L=900, 450$  mm の場合の固有振動数を式(1)<sup>3)</sup>から算出した。表-1に幅  $900, 450$  mm の場合の1, 2次モードの固有振動数の理論値を示す。

#### 2.2 制震装置

図-1に示すように、パンチングメタル板を水槽幅の中間位置に、水面に対して垂直に設置した。パンチングメタル板の穴径は  $15$  mm で一定とし、開口率  $p$  は  $42, 30, 20, 15, 10$  および  $5$  % の6種類とした。なお、 $p=42$  % のパンチングメタル板の穴を順次減らして開口率を低くした。

#### 2.3 実験方法

開口率の異なるパンチングメタル板を用い、周波数を  $0.60 \sim 2.4$  Hz の範囲で  $0.02$  Hz 刻み(表1に示す理論値付近では  $0.01$  Hz 刻み)で変えて最大波高を測定した(スイープ試験)。

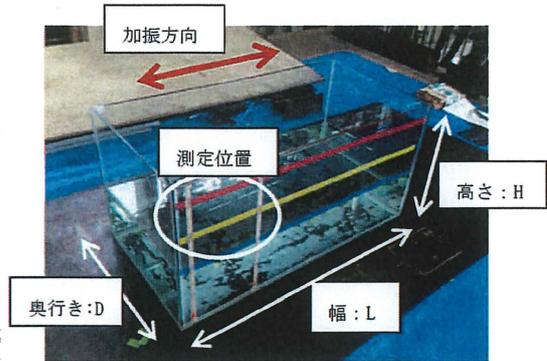


写真-1 用いた水槽

表-1 固有振動数の理論値

水槽の幅	固有振動数 [Hz]	
	1次モード	2次モード
$L=900$ mm	0.723	1.589
$L=450$ mm	1.239	2.28

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

$n$ : モード次数,  $g$ : 重力加速度 [ $m/s^2$ ],

$h$ : 水深 [m],  $f$ : スロッシング  $n$  次モードの固有振動数 [Hz]

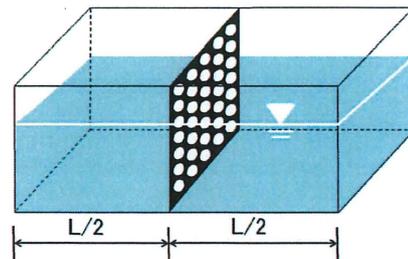


図-1 制震装置の設置位置

キーワード: スロッシング, 矩形型貯水槽, スロッシング波高抑制, 一次モード, 二次モード, 開口率  
連絡先: 〒501-0417 岐阜県本巣市屋井 1057 番 1 TEL: 058-323-8228, FAX: 058-323-8229

3. 結果および考察

図-2および図-3に、開口率  $p=42 \sim 15\%$  および  $15 \sim 5\%$  の場合の最大応答波高  $\Delta H/F$  と振動数の関係を示す。各振動数における加振力が異なるので、縦軸には最大波高  $\Delta H$  を各振動数における加振力  $F$  で除した最大応答波高  $\Delta H/F$  を示した。なお、 $L=900, 450\text{ mm}$  における固有振動数の理論値を図中に併記した。

図-2の  $p=42 \sim 15\%$  の場合では、 $L=900\text{ mm}$  の理論値付近の周波数で波高が上がっており、これらの開口率においては内容水の固有振動数に大きな差異は見られない。また、開口率が低くなるにつれて、波高抑制効果が大きくなることわかる。

一方、図-3における  $p=10, 5\%$  の場合では、 $L=450\text{ mm}$  の理論値付近で波高が上がっており、開口率が  $15\%$  より低くなると隔壁の状態に近づき、固有振動数に変化が現れると考えられる。

図-4に最大応答波高  $\Delta H/F$  に及ぼす開口率  $p$  の影響を示す。開口率が  $15\%$  まで低くなるほど波高が抑制されるが、 $15\%$  より低くなると波高抑制効果が小さくなることわかる。

4. おわりに

パンチングメタル板を制震装置として用い、スロッシング波高の変化および固有振動数に及ぼす開口率の影響について検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) 開口率が  $15\%$  より低くなると隔壁の状態に類似し水槽が半分分割されるので、固有振動数は  $L=900\text{ mm}$  から  $L=450\text{ mm}$  の値へと変わる。
- 2) 開口率を  $15 \sim 20\%$  とすることで、高い波高抑制効果が得られる。しかし、開口率を  $15\%$  より低くすると隔壁に類似するので、波高抑制効果は期待されない。

今回使用したパンチングメタル板の穴は  $15\text{ mm}$  径の円としたが、波高抑制効果に及ぼす穴径あるいは形状の影響については今後の課題である。

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) 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(応用力学), Vol. 69, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 16), I\_833-I\_843, 2013. 9.
- 3) G. W. Housner: The Dynamic Behavior of Water Tank, Bulletin of The Seismological Society of America, Vol. 53, 1963.

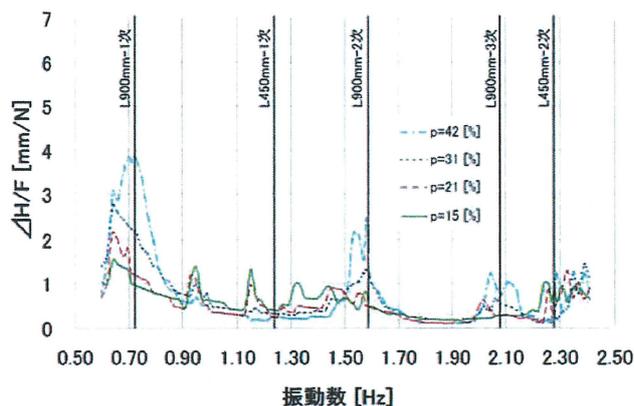


図-2 最大応答波高と振動数の関係 (開口率 42~15%)

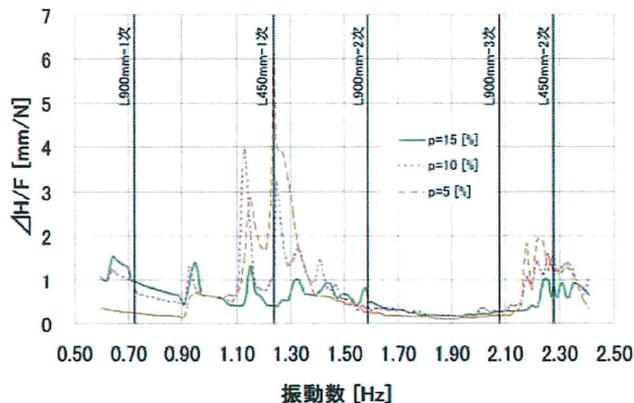


図-3 最大応答波高と振動数の関係 (開口率 15~5%)

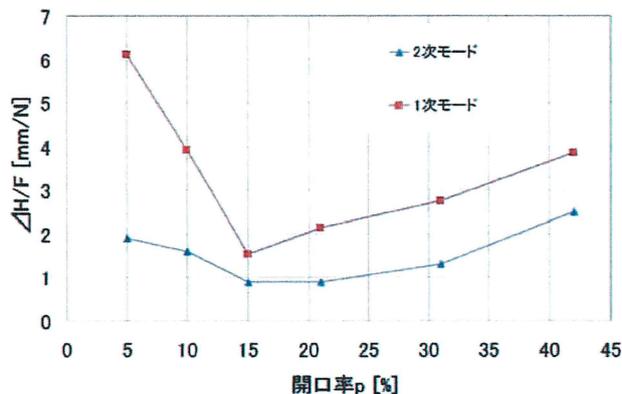


図-4 最大応答波高に及ぼす開口率の影響