

長周期振動下における矩形水槽内の水流動挙動に及ぼす多孔板設置の影響

森松工業 株式会社 正会員 ○青木 大祐
 森松工業 株式会社 正会員 坂東 芳行
 愛知工業大学 学生会員 池田 千紘
 愛知工業大学 正会員 鈴木 森晶

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(M 8.0), 2007 年の新潟県中越沖地震(M 6.8)および 2011 年の東北地方太平洋沖地震(M 9.0)が記憶に新しい。水槽類に対する地震の影響としては、周期 2~5 秒のやや長周期地震動により励起された波動が水槽の側板上部から屋根板付近に振動圧として作用するスロッシング現象が知られている。この現象が注目されるようになったのは、1964 年新潟地震で石油タンクの基地がスロッシングの被害によって火災焼失した事例に端を発する。

筆者ら¹⁾は、多孔板を制振装置として用いることを考案し、スロッシング波高の変化および固有振動数に及ぼす多孔板の開孔率の影響について検討した。多孔板を水槽の中間に設置した場合、開孔率が 15%より低くなると、隔壁を設置した状態に類似して固有振動数に変化が生じ、15 ~ 20% の開孔率で高い波高抑制効果の得られることを明確にした。本研究では、多孔板の設置位置、孔径・開孔率を種々に組合せて、固有振動数および波高抑制効果について実験的に検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

写真-1 に振動台上に載せた水槽、図-1 に水槽の概略を示す。水槽は幅 $L=900$ mm, 奥行き $D=450$ mm および高さ $H=450$ mm のガラス製とした。図-1 に示すように、多孔板を水槽の幅方向位置に槽上面から底面まで、水面に対して垂直に設置した。孔径 $d=15$ mm, 開孔率 42, 15 および 5% の多孔板を用いて、図-1 の下表に示す 3 種のパターンで設置した。また、パターン 3 では、開孔率 15% で孔径を 5, 10, 15, 20 および 25 mm と変えた。

2.2 実験方法

写真-1 に示すように、加振方向は幅方向とした。内容水の溢流を防ぐために振幅を ± 3 mm とし、周波数を 0.60 ~ 2.5 Hz の範囲で 0.05 Hz 刻みで変えた (スイープ試験)。水深 h は 200 mm で一定とした。上述のように、多孔板の設置位置、孔径・開孔率を種々に組合せた。水槽の前面にメジャーを貼り付け、目視およびビデオカメラで波高を観測した。固有振動数の理論値は Housner の式²⁾ から算出した。

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

n : モード次数, g : 重力加速度 [m/s²], h : 水深 [m], L : 水槽の幅 [m],
 f : スロッシング n 次モードの固有振動数 [Hz]

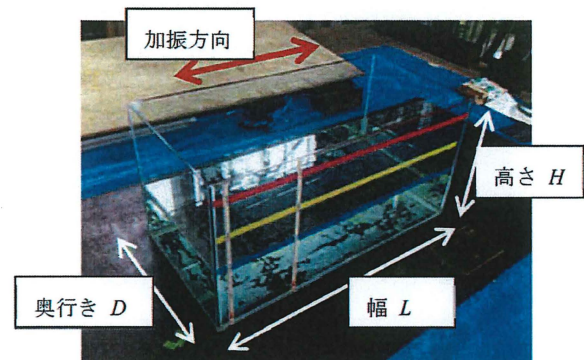


写真-1 水槽および振動台

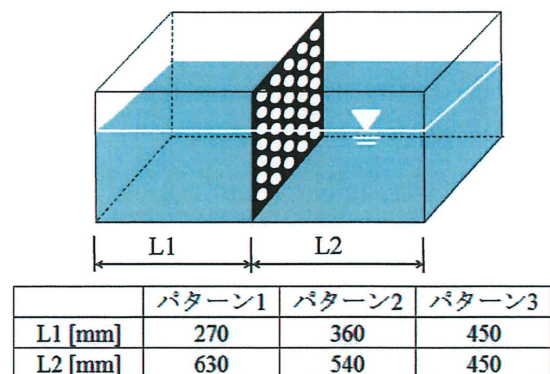


図-1 制振装置の設置位置

3. 結果および考察

図-2 および図-3 に、開孔率 42 および 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 ΔH 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。また、水槽幅 L における固有振動数の理論値を図中に波線で付記した。

開孔率 42 % の場合 (図-2), いずれの設置パターンにおいても, $L=900$ mm の理論振動数付近で波高のピークが現れる。また, 多孔板を幅方向の中間位置に設置した場合 (パターン 3) に波高抑制効果は最も高い (最大波高のピークが低い)。

一方, 開孔率 5 % の場合 (図-3) は隔壁 (開孔率 0%) を設置した状態に類似するので, 多孔板で仕切られた水槽寸法の幅に応じた理論振動数付近で波高のピークが現れる。また, 設置パターンによる最大応答波高に明確な差異は見られない。

図-4に最大応答波高に及ぼす多孔板の孔径の影響を示す (中間設置, 開孔率 15%)。同一開孔率では, 孔径 d が小さくなるほど波高抑制効果がやや高くなる。これは, 孔径が小さいほど, 孔数が増えることに加え, 水が孔を流通する際の断面積の急縮小・急拡大する割合が大きくなり, より多くの水の運動エネルギーが吸収されるためと考えられる。

4. おわりに

多孔板を制震装置として用い, 固有振動数と応答波高に及ぼす多孔板の設置位置および孔径・開孔率の影響について実験的に検討した結果, 以下の結論を得た。

1. 開孔率が 15 % より高く, 固有振動数が変化しない多孔板の場合, 水槽の中間位置に設置することで高い波高抑制効果が得られる。
2. 開孔率が 15 % より低く, 水の固有振動数が変化する多孔板の場合, 波高抑制効果に設置位置への影響は小さい。
3. 同一開孔率では, 孔径が小さいほど波高抑制効果は高くなる。

参考文献

- 1) 青木大祐, 鈴木森晶, 久保田拓也, 黒田亮: 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, 平成 27 年度土木学会全国大会, I-161
- 2) G. W. Housner : The Dynamic Behavior of Water Tank, Bulletin of The Seismological Society of America, Vol. 53, 1963.

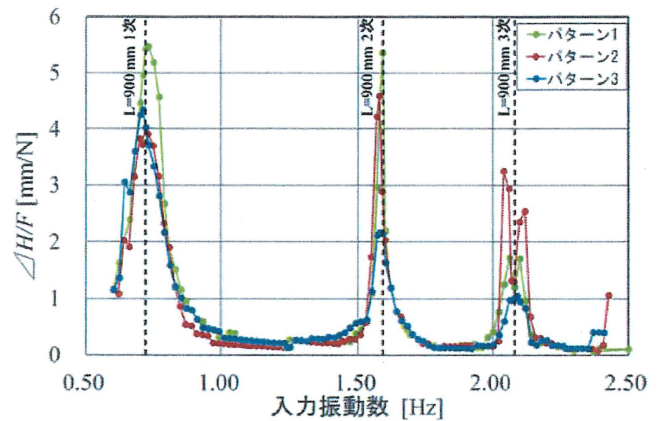


図-2 最大応答波高と振動数の関係(開孔率 42 %)

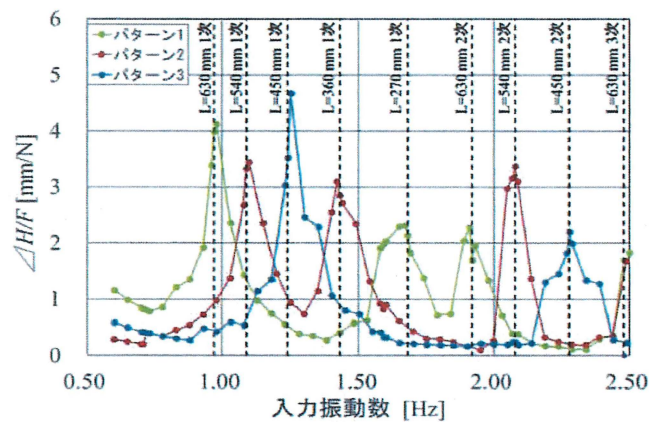


図-3 最大応答波高と振動数の関係(開孔率 5 %)

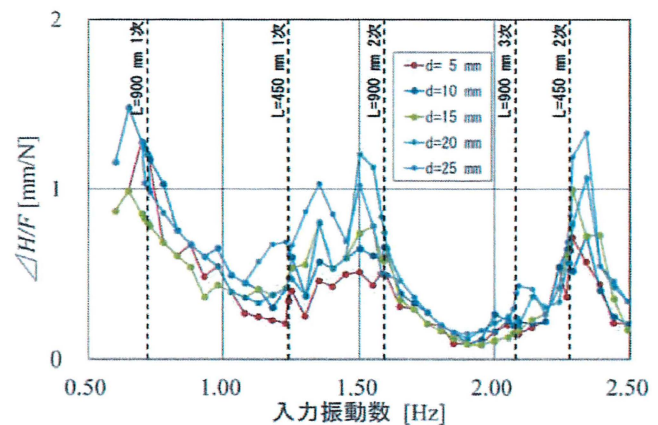


図-4 最大応答波高に及ぼす孔径の影響