

振動台実験の土槽側壁で発生する水面波の抑制方法

東京海洋大学

学 生 員

富田 晃弘

東京海洋大学

正 会 員

谷 和夫

東京海洋大学

フェロー

岡安 章夫

株式会社エコー

正 会 員

宇野 喜之

1. 目的

防災科学技術研究所の兵庫耐震工学研究センター（E-ディフェンス）でため池の堤体の地震時安定性を確認するための実物実験が 2016 年 3 月に実施された（図-1 参照）. 大型振動台の上に載せた土槽の中に堤体を設置して上流側に湛水する．この実験で問題となるのが，加振による湛水部の共振と土槽の側壁による波の発生である．現地では堤体の近くに壁が存在することではなく数十 m 以上は水面が続いており，実験の制約により生じる波により堤体の挙動に影響を与えてしまうことが懸念される．そこで本研究では，対策として水面直下に抑制板（穴の開いた平板）を側壁の前面に水平に設置する方法を提案し，縮尺模型実験を行って，その抑制効果を確認した．

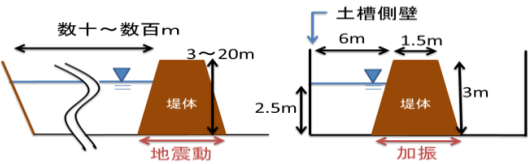


図-1 現地のため池（左）と E-ディフェンスでの実物実験（右）

2. 縮尺模型実験の概要

図-2 に示す長さ 1.5m,幅 0.2m,高さ 0.8m の水槽内に，堤体を模した板を勾配 1/1.5 で設置し，最深部の水深は 0.5m とした．堤体模型と側壁の周辺をビデオカメラで撮影し，画像上で堤体上の遡上高さや水面波の水位変動について，抑制板のある場合とない場合で比較した．

この対策に期待できる効果には，抑制板上での碎波，板周辺及び穴における渦の発生に伴うエネルギー減衰，さらに板による流体運動の抑制等があげられる．これらの効果は抑制板の開口率に依存する．使用した抑制板は長さ 300 mm,厚さ 3 mm のアルミ板で，開口率 10%，25%，50% の 3 種類である．穴の直径を全て 8 mm とし，

キーワード：振動台実験，水面波，抑制板，ため池堤体

連絡先：〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7 Tel:03-5463-0629 Fax.03-5463-0517

穴の中心間距離をそれぞれ 30 mm, 20 mm, 14 mm とした．水面下 40mm 下に 40mm 間隔で 3 段設置した．

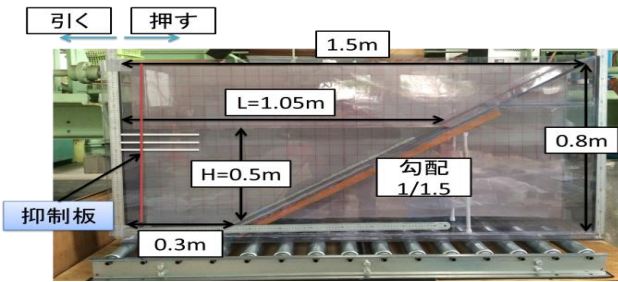


図-2 実験に用いた水槽

表-1 振動条件

波の種類	規則(正弦)波	単一波(押す・引く)	
振動数f(Hz)	0.5～1.3(0.1Hz刻み)	所要時間T(s)	0.2
振幅A(cm)	±0.75	水槽の水平変位d(cm)	5

加振は水平一方向のみで，振動条件を表-1 に示す．抑制板を設置すると共振の条件が変化すると考えられるため 1 次及び 2 次共振振動数の付近では 0.01Hz 刻みで加振をした．共振の検討は規則（正弦）波で，側壁により発生する波の検討は単一波で行う．矩形水槽の共振 n 次モード振動数 f_n は式 1 によって求めることができる(酒井ら,2007)．

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(2n-1)\pi g}{L} \tanh\left(\frac{(2n-1)\pi H}{L}\right)}$$
 — 式 1

ここで， L は水面距離， H は最深部水深である． $L=1.05\text{m}$ ， $H=0.5\text{m}$ とすると $f_1=0.82\text{Hz}$ ， $f_2=1.35\text{Hz}$ となる． $L=0.3\text{m}$ (底面幅)では $f_1=1.61\text{Hz}$ ， $f_2=2.79\text{Hz}$ となった．遡上高さおよび側壁近傍での水位変動は，ビデオカメラで撮影した動画の RGB 値を MATLAB により解析して求めた．

3. 実験結果と考察

(1) 規則（正弦）波を与えるケース

図-3 は，図-2 に示す赤線部分(水槽の側壁から 28 mm の断面)の抑制板がないケースの水位の経時を示す．これ

によって断面での波高変化を読み取ることができる。

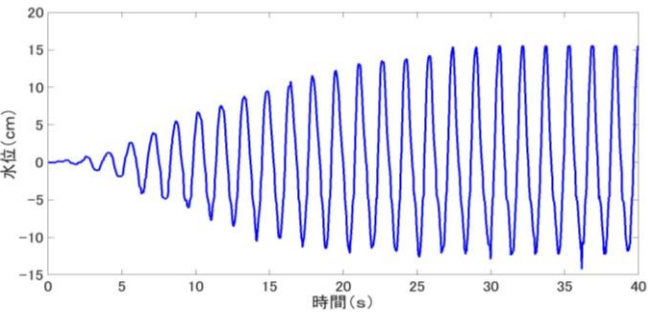


図-3 側壁での水位の経時変化
(規則波 $f=0.64\text{Hz}$ 抑制板なし)

抑制板がないケースで計測された 1 次・2 次モードの共振振動数は、それぞれ 0.64Hz ・ 1.02Hz であった。共振振動数から水面幅 L と水深 H を逆算した結果を表-2 に示す。共振 1 次モード発生時の遡上距離は 0.43m である。静水状態での水面幅と合わせると 1.48m となり、逆算した値と調和している。2 次モード発生時には遡上距離と水面幅を合わせると 1.35m となる。その値で f_2 を計算すると 1.31Hz となり、計算値よりも実際の共振振動数に近づいた。この結果より、水槽が矩形でない場合には、水面幅が斜面への影響を受けることが分かった。

表-2 共振振動数の逆算結果

共振振動数	水面幅 $L(\text{m})$	水深 $H(\text{m})$	1次モード $f_1(\text{Hz})$	2次モード $f_2(\text{Hz})$
計算値(式1より)	1.05	0.5	0.82	1.35
遡上距離 0.43m (1次)	1.48	0.5	0.64	1.49
遡上距離 0.3m (2次)	1.35	0.5	0.69	1.31
f_1 から逆算	1.49	0.5	0.64	1.25 -
f_2 から逆算	2.19	0.5	0.47 -	1.02

図-4、図-5 に振動数ごとの最大遡上高さ・側壁での最大波高を示す。今回の実験では抑制板を設置しても共振振動数は余り変化しなかった。最大遡上高さは、全ての抑制板で抑制効果が確認できた。特に共振 1 次モードでは、開口率 10%, 25%で抑制板を設置していない場合の 10%まで抑制することができた。側壁付近での最大波高も、遡上高さと同様に共振点での抑制効果が大きかった。

開口率 50%の板では、抑制板を設置していない場合の 30%までしか抑制できなかった。抑制板の開口率が 50%の場合には、10, 25%の板に比較して容易に水が穴を通過することができるため、流体運動の抑制効果が低下した。これに対して、開口率が大きい場合には、穴を通過する際の渦の発生、開口率が小さい場合には、板による流体運動による波の抑制効果が大きいと推測される。

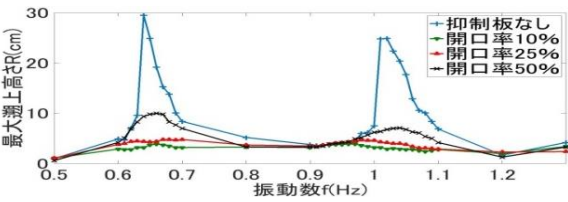


図-4 振動数と最大遡上高さの関係 (規則波)

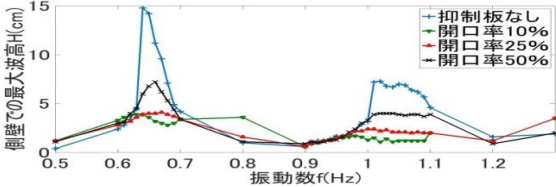


図-5 振動数と側壁付近での最大波高の関係 (規則波)

(2) 単一波を与えるケース

計測された遡上高さ R と側壁付近の波高の最大値を図-6 に示す。水槽を押した場合では、直後には斜面側では水面が下がり、壁側では水面が上がる。この壁に造波された波が斜面方向へ進んで最大の遡上高さ・波高を示した。水槽を引いた場合では、直後には斜面側で水面が上がり、壁側では水面が下がる。下がった水面がピークに転じた波が斜面方向へ進み最大の遡上高さ・波高を示した。抑制板を設置した場合、水槽が動いた直後に壁側で水面が大きく上下することを抑制することができた。水槽を押した場合では、目立った抑制効果は確認できなかったが、引いた場合では、最大で 35%まで抑制することができた。抑制効果は開口率 10, 25%の板で大きく、開口率 50%の板で小さかった。

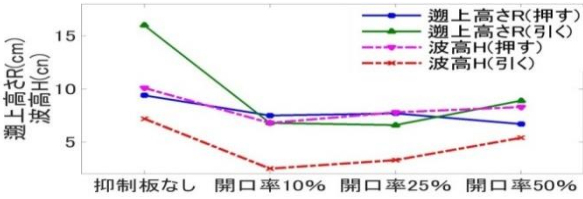


図-6 最大遡上高さ・波高の変化 (単一波)

4. まとめと今後の課題

水平加振した水槽の側壁によって発生する波は、穴を開けた抑制板によって小さくなり、その抑制率は開口率に依存する。

今後は、実物スケールで適用するために、抑制板付近での流体構造を明らかにする必要がある。

参考文献

1) 酒井理哉・東貞成・佐藤清隆・田中伸和(2007) : 溢流を伴う矩形水槽の非線形スロッシング評価, 構造工学論文集 Vol.53A, pp.597-604.