

円筒型波増幅装置の開発とモデル化

宮崎大学 学生会員 後藤俊紀
宮崎大学 正会員 村上啓介 真木大介

1. まえがき

2011年の東日本大震災以降、自然エネルギーの利用促進がより一層求められるようになった。その中で、日本は四方を海に囲まれているため、波エネルギーは潜在的に高い利用ポテンシャルを秘めている。1973年のオイルショック以降、波エネルギー変換装置の開発が積極的に行われてきた。一方で、発電にかかるコストが高いことや、安定して波エネルギーを取り出すことが難しいことから大規模な実用化には至っていないのが現状である。

本研究では、小振幅の波でも安定的に波エネルギーが抽出できるシステムとして円筒管群の利用を考え、その増幅特性を水理実験により明らかにするとともに、円筒管内の水運動をモデル化する。

2. 実験条件

実験には、長さ15m、幅0.4m、高さ0.6mの二次元水槽を用いた。図-1に実験水路の概要を示す。水深 h は0.4mとした。入射波高は0.05mとし、周期 T は0.8secから2.2secまで、0.1secずつ変化させた。波高計は容量式波高計を用い、入射波高と円筒管内の波高、円筒管外の波高を測定した。模型縮尺は1/20を想定している。

本研究では、ケース1とケース2の二通りの実験を行った。

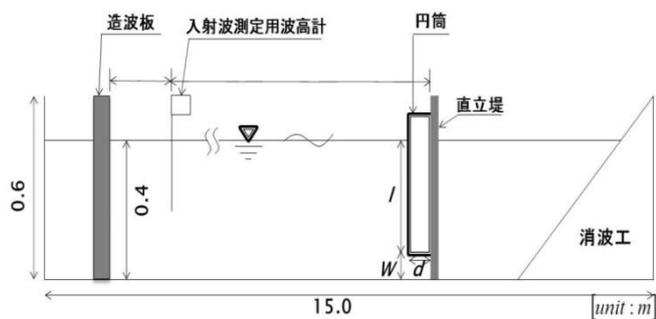


図-1 実験水路

(1) 単一円筒に関する実験 (ケース1)

ケース1では、鉛直壁前面に単一の円筒管を設置し、円筒管下端と水底面との間隔 W を変えた場

合の増幅特性を検討した。実験装置の概略を図-2に示す。円筒管内径 d は0.075mとし、 W は0.01m~0.04mの範囲で0.01m間隔で変化させた。

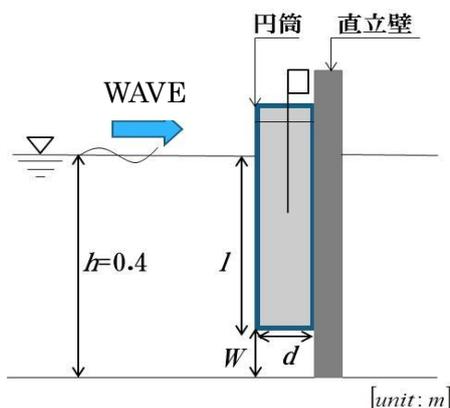


図-2 実験装置(ケース1)

(2) 円筒群に関する実験 (ケース2)

本システムは、実際には円筒管群で構成されるため、円筒管群の相互作用が増幅特性に影響を与えることが考えられる。ケース2では、円筒管の相互作用が増幅特性に与える影響を検討するため、鉛直壁前面に3本円筒管を設置して実験を行った。実験装置の概略を図-3に示す。円筒管内径 d は0.075mとし、円筒管下端と水底面との間隔 W は0.04mとする。

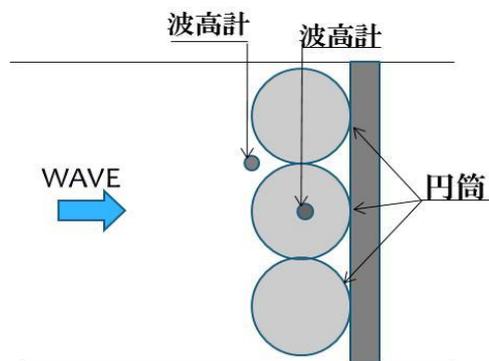


図-3 実験装置(ケース2)

3. 実験結果

(1) ケース1に関する実験結果

直立壁前面に単一の円筒管を設置した場合の円

円筒増幅特性を図-4に示す。横軸は波長水深比、縦軸は増幅率（ H は円筒管内の波高、 H_0 は入射波高）を示している。円筒管内の水面波は特定の入射波周期に対して増幅する特性を持ち、その特性は円筒管下端間隔 W に依存することがわかる。特に、 W が極端に小さくなると増幅率が大幅に低減する傾向がみられ、 W の最適値が存在すると考えられる。

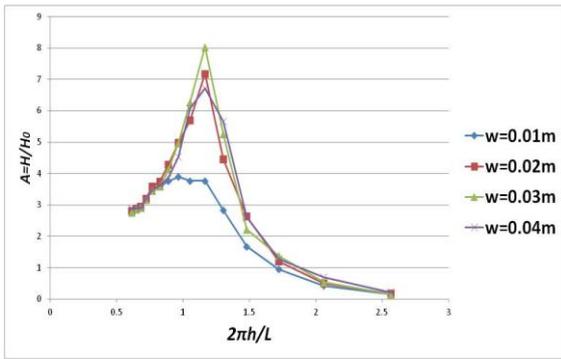


図-4 実験結果(円筒1本設置した場合)

(2) ケース2に関する実験結果

単一円筒の場合の増幅特性を複数円筒群の増幅特性を比較した結果を図-5に示す。複数の円筒管を設置した場合の増幅値は単一円筒の場合に比べて10%程度小さい値を示しているが、増幅特性に大きな違いは見られない。よって、単一円筒を対象とした増幅特性の検討は円筒群の場合についても同様にあてはめて考えることができる。

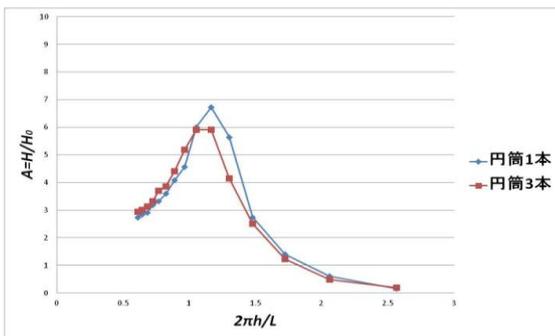


図-5 実験結果(円筒3本設置した場合)

(3) 増幅機構のモデル化

円筒管内の増幅機構を式(1)によりモデル化した。ここでは、円筒管内の波運動に対して付加質量を考慮し、円筒管の下端で渦形成に伴う損失と側壁での摩擦損失を考慮した。

$$\frac{d}{dt} \left\{ \rho(l + \alpha y) \frac{\pi d^2}{4} v \right\} + \frac{\pi d^2}{4} \rho g y + \frac{f}{8} \rho v^2 \pi d(l + y) + \frac{f_0}{2} \rho v^2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) = P \dots (1)$$

ρ : 水塊の密度 l : 没水長 H_0 : 波高 d : 内径
 f : 摩擦損出係数(0.04) f_0 : 出口損出係数(0.5, 1.7)
 α : 付加質量係数(0.25, 0.5) P : 外力

図-6に実験結果と式(1)で算定した結果を示している。実験結果と計算結果の一致の程度は良好で、式(1)が妥当な結果を与えていることがわかる。木村²⁾は増幅のピークを与える周期は管長で決まるとしているが、本モデルで示すように付加質量を考慮しないと実験と一致しない。

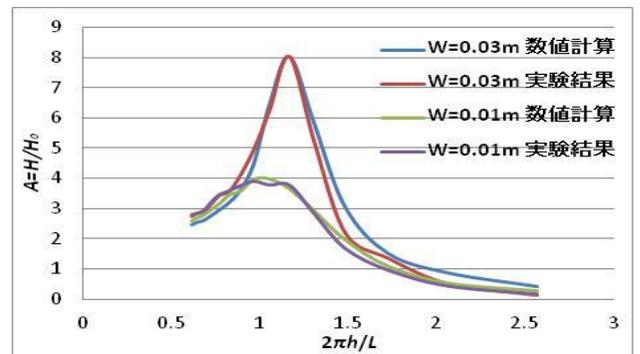


図-6 実験結果と数値計算の比較

4. まとめ

- ・鉛直堤前面に単一の円筒管を設置した場合、円筒管内の波高は、円筒管下端間隔 W に応じて入射波高の約4.0~8.0倍程度増幅される。
- ・直立壁前面に3本の円筒管を設置した場合、波高増幅特性は、単一の場合と大きな違いは見られない。
- ・増幅のピークを与える周期は、円筒管の固有周期のみで決まるのではなく、付加質量を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 高橋重雄：波エネルギー利用への再挑戦，海洋開発論文集，第24巻，pp.7-12，2008。
- 2) 木村晴保，藤田喜英：波動ポンプの開発-規則波による揚水量について-，第24回海岸工学論文集，pp620-624,1977
- 3) 村上啓介，岡本英久，真木大介：波動ポンプを活用した波エネルギーの効率的な抽出に関する研究，海洋開発論文集，第69巻，pp.97-102，2013。