

II-311 新しい波エネルギー利用システム「波動ポンプ」の開発

○ 鹿島建設株式会社 正会員 志岐 明
 " 正会員 原田 宏

1. はじめに

本稿で提案する「波動ポンプ」は、波による浮体運動を駆動力とするポンプであり、波エネルギーを直接ポンプ動力として用いるのでエネルギー変換効率が良く、利用面もポンプ機能に絞られているため実用化も容易である。また、出力変動についても別途貯水槽を設けることで対応できる。

当社では、昨年「波動ポンプ」の開発に着手し、予備的な解析、水理実験を行った結果、実用化の目的を得ることができたので、その概要について述べる。

2. 対象とするモデル

「波動ポンプ」は種々の構造型式と広範な用途が考えられるが、ここでは図-1に示される揚水ポンプを対象とする。図に示した例は、一辺が約10mのケーソン内にフロートが内蔵されたものでケーソン下部に開口部を有している。この開口部を通して波エネルギーは取入れられ、中のフロートは上下運動する。水深は10m程度を想定している。

ポンプの流体圧送機構は、フロートを貫通する外管とケーソン天端に固定された内管の組合せからなり、外管、内管にはそれぞれ逆止弁がついているため、一方向の流れを作出することができる。外管の断面積はフロートの断面積に比べて1/100程度に絞られているため、高圧、高揚程を得ることが可能となる。外管と内管の間には止水のためOリングが設けられている。

3. 簡易予備解析

対象としたのは、円形の開口部を有するケーソンで、表-1に示される条件を用いた。解析に用いた仮定は表-2のとおりである。

以上の仮定のもとに、フロート重心鉛直運動に対して次の運動方程式が得られる。

$$(M+m)\ddot{X} + C(\dot{X})^2 + KX + S = F_0 \sin \omega t \quad \dots (1)$$

表-1 解析条件

波 浪	波高 1m, 周期 5sec及び 8sec
水 深	10m
フロート径	φ 10m
内管径	φ 1m
給水パイプ	φ 0.3m, $\rho = 100m$
給水高さ	20m及び10m
フロート吃水	5m及び 2m
開口部中心深さ	7m及び 5m
条件1	フロート吃水 5m, 開口部中心深さ 7m, 給水高さ20m
条件2	フロート吃水 2m, 開口部中心深さ 5m, 給水高さ10m

表-2 解析に用いた仮定

①	線形規則波でフルードクリロフ力だけが作用
②	壁面での反射、回折を無視およびフロートの運動による付加慣性力、造波減衰力を無視
③	フロート底面に一様な波圧が作用（ケーソン開口部中央での値）
④	固体摩擦を無視（フロートケーソンおよびポンプ機構の内管-外管）
⑤	管内平均流速2乗に比例する流体抵抗
⑥	Oリング部からの漏水は微小と考慮して無視

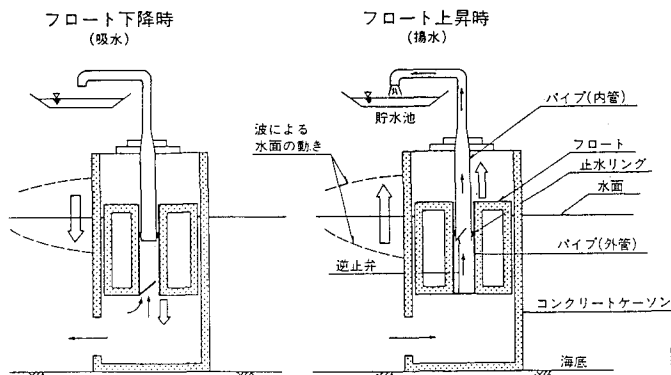


図-1 「波動ポンプ」概要図

ここで、 M ：フロート質量、 m ：揚水流の加速慣性質量、 C ：流速の2乗に比例する流体抵抗の係数、 K ：浮力による復元力係数、 S ：揚水水圧、 F_0 ：揚圧力の振幅である。ここで、係数 m 、 C 、 S は揚水時（ $\dot{x} \geq 0$ ）だけ値をもって、吸水時（ $\dot{x} < 0$ ）は0となる。従って、式（1）は非線形方程式であり数値的に解を求める必要がある。フロートの運動がわかればポンプ出力は求めることができる。結果は表-3に示すとおりである。

4. 水理模型実験

今回考案した「波動ポンプ」装置の有効性を確認する目的で、2次元水理模型実験を行った。実験概要は表-4に示されるとおりである。模型縮尺は1/15とし水深10mの海域に設置することを想定した。結果は図-2、3に示されるとおりである。

装置の効率として $T = 7\text{sec}$ 、 $H = 1\text{m}$ 、揚程10mとして、約 $10\text{m}^3/\text{分}$ の吐出量が得られるものとする、波の入射エネルギー $\dot{E} = H^2 TB = 70\text{kW}$ 、ポンプ効率 $\dot{E} = 9.8Qh = 16.4\text{kW}$ 、エネルギー変換効率23%が得られる。ただし、 H ：波高、 T ：波周期、 B ：装置幅、 Q ：流量、 h ：揚程である。なお、今回の実験では、稼働部分の摩擦による損失がやや大きく、構造的にも最適なものとは言えないので、今後研究が進めばエネルギー変換効率は更に改善されるものと考えられる。

5. 考察及び今後の予定

今回の解析と実験はほぼ同じような条件で行っているが、解析の方が出力が大きく、共振周波数が小さ目になっている。その原因としては、解析ではフロートに作用する付加慣性力、造波減衰力及び固体摩擦力などを考慮していないためと考えられる。

今後は、装置を改良して最適な構造で実験を行うこと、及び全ての条件を実験することは不可能なので、解析精度の向上を目指していく予定である。

表-3 出力解析結果

条件	波周期 (sec)	フロート両振幅 (m)	給水量 (m^3/min)	ポンプ揚程 (m)	ポンプ仕事率 (kW)	入射波のエネルギー (kW)	効率
1	8	1.11	6.54	20	21.4	89.8	0.24
1	5	2.05	19.30	20	63.0	57.2	1.10
2	8	0.92	5.42	10	17.8	89.8	0.20
2	5	0.79	7.45	10	24.6	57.2	0.43

注1) 条件1：フロート吃水5m、開口部中心深さ7m、給水高さ20m
条件2：フロート吃水2m、開口部中心深さ5m、給水高さ10m

表-4 実験概要

①	造波水槽：鹿島建設技術研究所海洋水理実験場中型水路 (0.7m幅×1.5m高×60m長)
②	実験期間：昭和61年2月3日～8日
③	想定縮尺：幾何学的縮尺1/15としフルードの相似則に従うものとした
④	使用模型：耐水バニヤ製模型を使用した
⑤	想定現地条件： 水深：10m ケーソン：一辺約10mの正方形 フロート吃水：3.5～5m 外管内径：1.5m 内管内径：1.155m 給水管内径：0.497m 管長：76.5m 揚程：10～44m
⑥	測定：入射波高、堤前波高、フロート変位、吐出流量

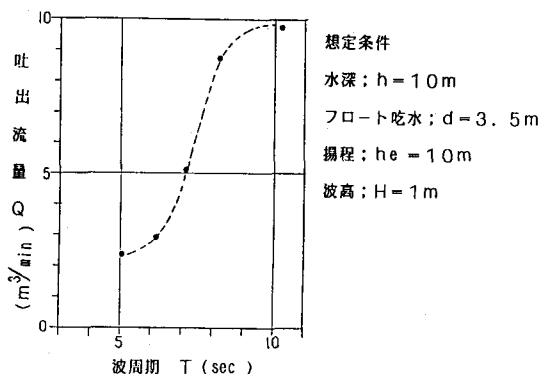


図-2 波周期と吐出流量（現地スケール）

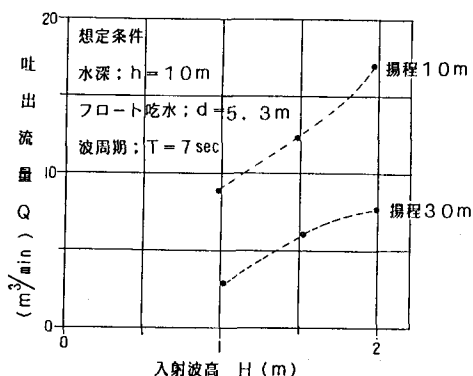


図-3 波高と吐出流量（現地スケール）