

## 波力発電用遊水室内の水面動揺に関する実験的研究（第2報）

山口大学 学生会員 ○門 脇 圭 佑  
西松建設(株) 正会員 品 川 亮  
佐賀大学 正会員 コイララ パラブ

山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義  
国土交通省 非会員 大西 季秋  
(株)建設技術研究所 正会員 種浦 圭輔  
中村建設(株) 正会員 大木 協

### 1. はじめに

当研究室は、プーリ、ワイヤ、浮体、釣合錘(カウンターウェイト)、ラチェット機構などにより構成される「浮体釣合錘式波力発電装置」を開発中<sup>1)~4)</sup>である。これは、水面上下動の動力を浮体重量とワイヤ張力を介してシャフト回転の動力に変換し、発電機をまわす仕組みである。この場合、浮体に波の横荷重の作用を回避する必要がある。

この目的に対して、折れ線形状に配置された防波堤のうち堤体軸線の向きが卓越波の波向きと一致する区間の港外側に枠体で形成した遊水室を設置し、この中に浮体を配置して稼働することが有効である。本研究では前報<sup>5)</sup>につづき、この状態で波力発電装置を稼働することを想定し、波による波力発電用遊水室内の水面動揺の実験計測を行ったのでその結果を報告する。

### 2. 波力発電用遊水室の評価

#### 2.1 実験装置と実験方法の概要

実験は、国土交通省下関港湾空港技術調査事務所水理実験センター内の造波・廻流水路(全長 41.0m, 幅 0.8m, 最大水深 1.2m) を用いて行った。

遊水室模型は、図-1 に示す水平断面が一边 0.20m の正方形で高さ 0.40m, 0.45m, 0.50m のアクリル製遊水室を 6 つ連結した全長 2.225m のものである。

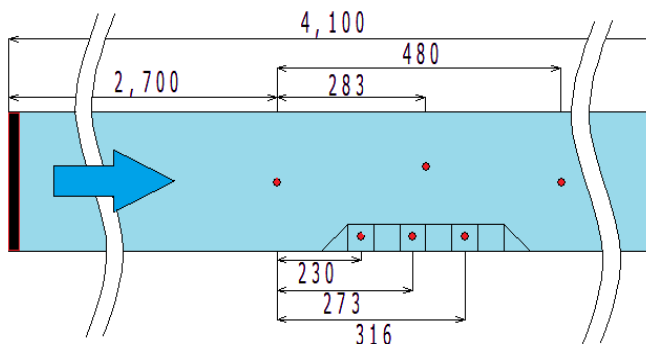


図-1 水路全体図

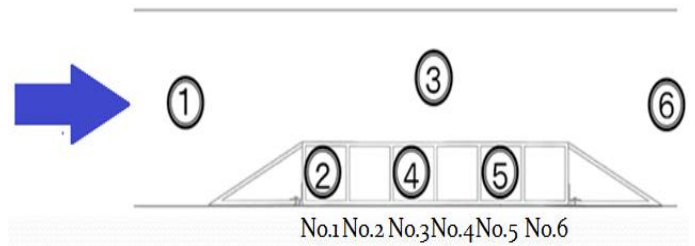


図-2 遊水室内模式図

これを水路内手前側の側壁に固定し、遊水室内の水面動揺がガラス製水路側壁を通して目視できるようにした。模型の設置位置は、その中心を造波板から 29.83m(先端が 28.72m)とした。また、遊水室内と水路内の合計 6 か所(図-2 の①~⑥)に波高計を設置した。設置位置と波高計の番号は次の通りである。波上側から第 1, 第 3 および第 5 番目の遊水室内、並びに遊水室模型の先端から 1.72m だけ波上側の水路中央、遊水室模型の中央位置で遊水室と水路側壁の中央位置、および遊水室後端より波下側 0.86m の水路中央である。

実験は、造波機を稼働して波を発生させ、波高計により水面変動を 6 点で測定した。計測時間は造波開始から、波高計⑥の水路終端からの反射波を感知するまでの時刻までとし、進行波のみに対して計測を行った。同時に遊水室内の水面変動をビデオに記録した。実験は、各条件に対して 3 回ずつ行い、各波高計の平均波高を算出し、その平均値をとることにした。波高計①で算出された平均波高と各波高計で算出された平均波高の比より増幅率を求めた。

実験条件を表-1 に示す。なお、今回の検討では、浅海域の微小振幅波理論に従うこととし、浅海波以外に分類される条件は除外した。また、周期 1 秒の波による遊水室内の水面動揺は、遊水室により上下運動主体に変換する事が困難であったので、検討対象から除外した。遊水室内の水面上下動の振幅の水

表-1 実験条件

水深(m)	0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65
喫水深(m)	0.05, 0.10, 0.15
遊水室下端高さ(m)	0.40, 0.45, 0.50
周期(s)	1, 2, 3
波高(概数)(m)	0.04, 0.06, 0.08, 0.10

面波に対する増幅比を周期比  $T/T_r$ , 遊水室幅・波長比  $l/L$ , 相対水深比  $h/L$ , 水塊上下動振幅・喫水深比  $\zeta/D$  のパラメータにより考察を行った。

## 2. 2 水面上下動の増幅率に関するパラメータ

### 周期比 $T/T_r$

共振現象をヒントに、波周期  $T$  と遊水室内水面上下動の固有周期  $T_r$  との比を考えた、図-3 の構成で、遊水室内の水面上下動において、水位変動が慣性質量に及ぼす効果を無視すると、運動方程式は式(1)で与えられ、これより、 $T_r$  は式(2)で与えられる。

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} + \frac{g}{D}\eta = 0 \quad (1), \quad T_r = 2\pi\sqrt{\frac{D}{g}} \quad (2)$$

### 遊水室幅・波長比 $l/L$

波面は曲面であり、水面上下動を利用する波力発電装置では、動力獲得部の水平寸法が波長に比べて小さい必要がある。波力発電では、この値が波長の 1/10 より小さい事が条件とされている。そこで、これに対応するパラメータとして遊水室幅・波長比を考えた。これはまた、進行波が遊水室幅  $l$  の長さを通過するのに要する時間  $\Delta t$  と周期  $T$  との比である。これは次のように示される。波速を  $c$  とすると、

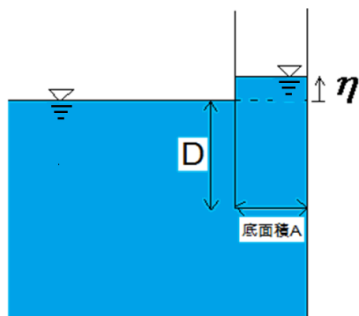


図-3 遊水室内の水塊の状態図

$\Delta t = l/c$  であり、また  $T = L/c$  の関係にある。したがって  $\Delta t/T = l/L$  となる。

### 相対水深比 $h/L$

これは波が、深海波的还是浅海波的还是を表す指標があり、水面波の運動を考える際に常に意識すべきパラメータである。

### 水塊上下動振幅・喫水深比 $\zeta/D$

水塊上下動の振幅  $\zeta$  と遊水室隔壁下端深度で与えられる喫水深  $D$  との比も遊水室内の水圧上下動に有意の影響を及ぼすと考えられる。平均位置が水面の下方  $-\bar{z}$  ( $\bar{z}$  は負値) にある水粒子の上下動の振幅は次式で与えられる。

$$\zeta = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh k(h + \bar{z})}{\sinh kh} \quad (3)$$

ここで  $H$  は波高、 $k$  はラジアン表示の波数  $k = 2\pi/L$  である。ここでは、 $\bar{z} = 0$  (水面)、 $-D$  (隔壁下端) に対する 3 つの値を求めた他、式(3)の  $\zeta$  を  $\bar{z} = 0 \sim -D$  の間で、平均したものの合計 3 通りについて検討する。

## 3. 実験結果の検討

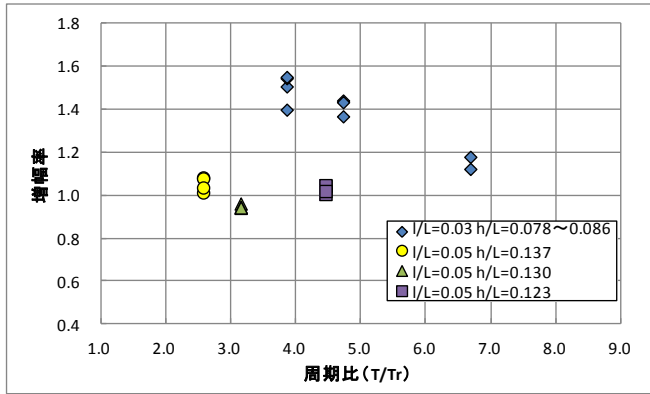
遊水室先端部では、進行波が衝突した事の影響がでている。この影響は遊水室内の水の運動にも表れる。このため、本研究で対象とする、沿い波利用の遊水室を考える場合には、最も波上側からある程度離れた部分の遊水室について調べる事が必要である。ただし、参考のため、ここでは最も波上側の遊水室 No.1 の結果も合わせて示す。本実験では、模型の遊水室長さが短い、遊水室 No.5 を当面の検討対象として考える。

図-4 は、水面上下動の増幅比と周期比  $T/T_r$  の関係を示す。波下側の遊水室 No.5 についてみると、 $l/L = 0.03$  では増幅率は周期比  $T/T_r$  によりあまり変化しないが、 $l/L = 0.05$  の場合には  $T/T_r$  が 1 に近づくと増幅率が增大している。両者の相対水深  $h/L$  の値はそれぞれ 0.08 程度および、0.12~0.14 程度であり、 $h/L$  の効果がある事をうかがわせる。

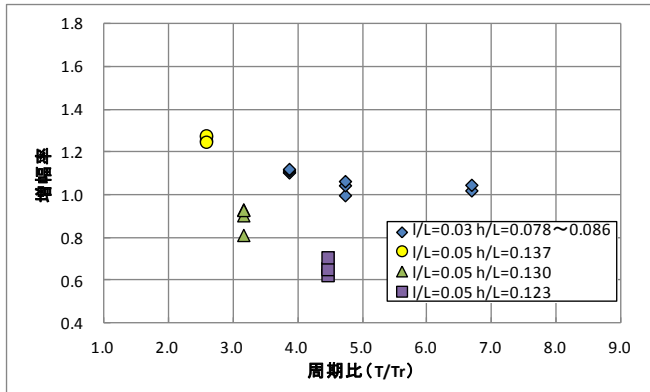
図-5 は水塊上下動の振幅と遊水室隔壁喫水深の比  $\zeta/D$  が遊水室内水面上下動の増幅率に及ぼす効果を示している。図では  $\zeta$  として  $\bar{z} = 0 \sim -D$  間の平均値を用いた場合を示したが、 $\bar{z} = 0$  に対する  $\zeta$  およ

び、 $\bar{z} = -D$ に対する $\zeta$ についてもこれと同様の結果になった。以下では、波下側の遊水室 No.5 について述べる。

遊水室 No.5 の場合、遊水室下端高さによらず、増幅率の跳躍は見られない。図より、 $\ell/L=0.05$  の時、概して相対水深  $h/L$  が大きいほど増幅率が大きくなっている。 $\ell/L=0.03$  のときは、 $\zeta/D$  による増幅率の増加は見られない。図-5D) より  $h/L=0.144$  の増幅率が  $h/L=0.137$  の増幅率よりも低くなっているが、この事は今後よく検証する必要がある。

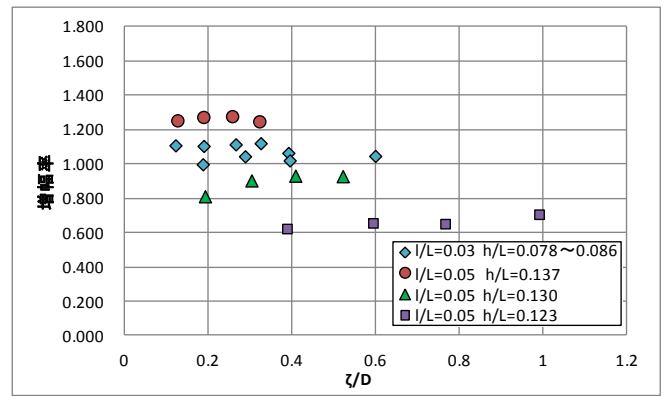


a) 遊水室高さ 40cm 遊水室 No. 1 の場合

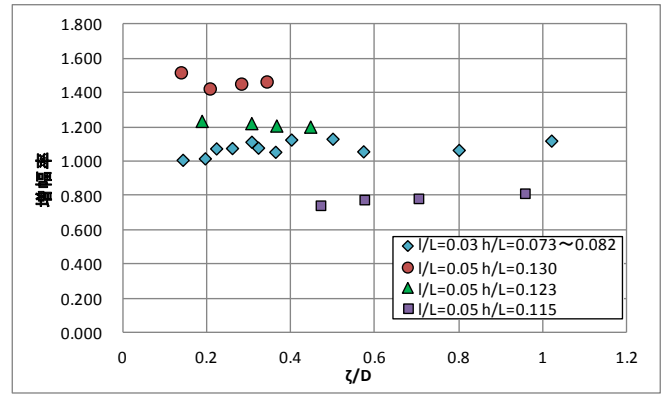


b) 遊水室高さ 40cm 遊水室 No. 5 の場合

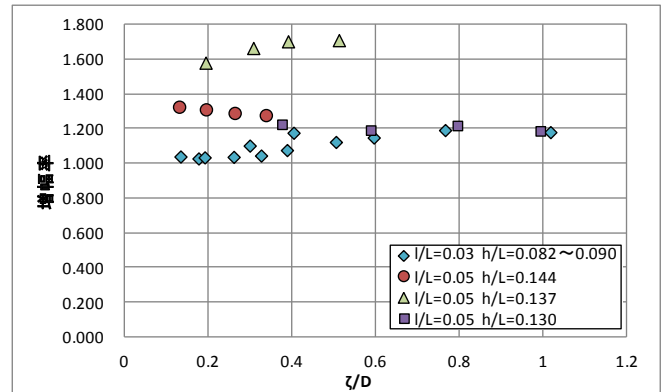
図-4  $T/T_r$  と増幅率の関係



B) 遊水室高さ 40cm 遊水室 No. 5 の場合

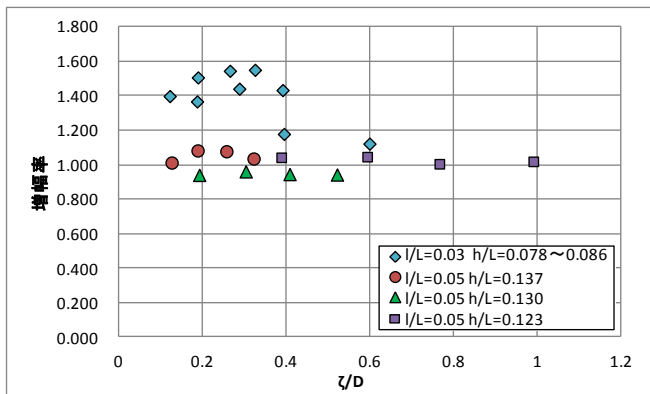


C) 遊水室高さ 45cm 遊水室 No. 5 の場合



D) 遊水室高さ 50cm 遊水室 No. 5 の場合

図-5  $\zeta/D$  と増幅率の関係



A) 遊水室高さ 40cm 遊水室 No. 1 の場合

#### 4. 結論

以上、浮体釣合錘式波力発電装置に用いる波力発電用遊水室内の水面動揺の実験計測とその結果の考察、および複数連結による発生電力の評価について述べた。遊水室内の水面動揺の増幅特性に関して、4つの無次元パラメータ(周期比  $T/T_r$ 、遊水室幅・波長比  $\ell/L$ 、相対水深比  $h/L$ 、水塊上下動振幅・喫水深比  $\zeta/D$ )により調べた。その結果、 $\ell/L = 0.03$  と  $\ell/L = 0.05$  とで増幅率の変化特性が異なっていた。

=0.03 の場合には、他の 3 つのパラメータによる増幅率の変化があまり認められなかった。  $l/L = 0.05$  の場合には、増幅率が周期比  $T/T_r$  が 1 に近づく程、相対水深比  $h/L$  が大きい程大きいことが分かった。また、水塊上下動振幅・喫水深比  $\zeta/D$  による増幅率の変化はあまり認められなかった。

今後は、さらに長い遊水室を用いて実験を行なうと共に、具体的な遊水室の構造について検討を行なう予定である。

## 5. 参考文献

- 1) 羽田野ら：浮体式波力エネルギー変換の力学，土木学会論文集 B, Vol.62, No.3, pp.270-283, 2006.
- 2) Pallav KOIRALA ら：Dynamics Model Of Movable Body-type Wave Energy Converter Considering Two Dimensional Motions Of The Float, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.3, pp.179-189, 2009.
- 3) 種浦ら：可動物体型波力発電装置の共振特性の検討，土木学会論文集 B, Vol.66, No.2, pp.196-206, 2010.
- 4) 羽田野ら：蓄力機能をもつ可動物体型波力発電の力学検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.67, No.1, pp.213-224, 2011.
- 5) 品川ら：波力発電用遊水室内の水面動揺に関する実験的研究，土木学会中国支部研究発表会概要集, 2012.