

沿い波利用型波力発電用遊水室内の水面動揺に関する研究

羽田野 袈裟義^{*1}・大木 協^{*2}・Pallav KOIRALA^{*3}・種浦 圭輔^{*4}・大西 季秋^{*5}

Study on the Motion of the Water in the Water Chambers for Wave Energy Converter Aligned along Wave Propagation

Kesayoshi HADANO^{*1}, Kyo OHGI^{*2}, Pallav KOIRALA^{*3},
Keisuke TANEURA^{*4} and Toshiaki OHNISHI^{*5}

^{*1} Yamaguchi Univ. Dept. of Civil and Environment Engineering
Tokiwadai 2-16-1, Ube, Yamaguchi, 755-8611 Japan

This paper describes the experimental result on the motion of water in the water chambers for wave energy converter aligned along the wave propagation direction so that the front walls of which do not suffer from the impulsive forces by the wave. Property of the amplitude of the vertical motion of the water surface in the chambers is focused on. The amplification has been investigated by dimensionless parameters of the wave period/eigen period of U-shaped oscillation ratio T/T_e , chamber size/wave length ratio ℓ/L , water depth/wave length ratio h/L , amplitude of up and down of water particles/draft of the front wall ratio ζ/D . It has been shown that ℓ/L should be less than 0.1, that as T/T_e approaches unity the up and down of the water in the chambers is amplified.

Key Words : Wave Energy Conversion, Vertical Motion of Water, Water Chambers, along Wave Direction

1. 緒 言

当研究室は、プーリ、ワイヤ、浮体、釣合鍾、ラチェット機構などにより構成される「浮体釣合鍾式波力発電装置」を開発中^{1)~4)}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、鉛直壁を用いて構成した遊水室内に浮体を配置して遊水室内の水塊の鉛直運動を利用することが有効である。このような遊水室は、中村らにより渦流方式^{5)~9)}に利用されているが、振動水柱型では空気室^{7)~9)}として用いられている。従来の方式は波を正面から受ける形式で、波により生じる水塊の波進行方向の運動を後方壁でトラップすることによる“よどみ圧”的效果を利用して遊水室または空気室内の水面上下動を増幅することを狙っているが、前面壁が波の衝撃力に対応するため強固にする必要があり、高コストが避けられない。

この高コストを避けるため、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考えられる。

本研究では前報¹⁰⁾につづき、この形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。

* 原稿受付 2013 年 7 月 31 日

^{*1} 山口大学 大学院理工学研究科 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)

^{*2} 中村建設株式会社

^{*3} 佐賀大学海洋エネルギー研究センター

^{*4} 株式会社建設技術研究所 地球環境センター

^{*5} 国土交通省 中国地方整備局 鳥取河川国道事務所

E-mail: khadano@yamaguchi-u.ac.jp

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, Fig.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.

これを水路内の手前側壁に固定し, 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(波上側先端が 28.72m)とした. また, 遊水室内と水路内の合計 6 か所 (Fig.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(②,④,⑤), 遊水室模型の先端から 1.72m 波上の水路中央(①), 遊水室模型の中央位置で遊水室と水路側壁の中央位置(③), および遊水室後端より波下 0.86m の水路中央(⑥)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求め, 3 回の実験についてその平均値をとることにした. 波高計①で得られた平均波高と波高計②, ④, ⑤で得られた平均波高の比として増幅率を求めた.

実験条件を Table1 に示す. なお, 波周期 1 秒の場合, 遊水室内では水面が傾いた状態で昇降し, そして波による遊水室内の水塊運動は上下運動主体にはならず, 本研究で目的とする状態とならなかったため, 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 h/L , 水塊上下動振幅・喫水深比 ζ/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, Fig.3 の構成で, 遊水室内の水面上下動において, 水位変動が遊水室内の水の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

海洋波の波面は曲面であり, 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ことが必要である. 波力発電では, この値が波長の 1/10 より小さい事が条件づけされている. 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 ℓ/L を考えた. これはまた進行波が遊水室幅 ℓ に等しい長さを通過するのに要する時間 Δt 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, $\Delta t = \ell/c$ であり, また $T = L/c$ の関係にあるから $\Delta t/T = \ell/L$ となる. 波峰線が遊水室前面壁と角度 θ で来襲する場合, 遊水室が感知する波長は $L_\theta = L/\sin\theta$, 波速は $c_\theta = c/\sin\theta$ となり, 上の関係において L の代わりに L_θ を用いる.

相対水深比 h/L

これは, 波が深海波のか浅海波のかを表す指標があり, 水面波の運動を考える際に常に確認すべきである.

水塊上下動振幅・喫水深比 ζ/D

水塊上下動の振幅 ζ と遊水室隔壁下端深度すなわち喫水深 D との比も遊水室内の水面上下動に有意の影響を及ぼすとみられる. 微小振幅波理論では, $\bar{z}$ を静水面から鉛直上向きにとるとき, 平均位置が水面下の点 $\bar{z}$ (水面下では $\bar{z}$ は負値)である水粒子の上下動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 $k = 2\pi/L$, h は水深である. $\bar{z}$ としてどの値を考えるのが適切であるかの問題がある. ここでは, $\bar{z}$ として, これを平均水面位置とする水粒子に対する $\bar{z} = 0$ およびこれを遊水室隔壁下端位置とする水粒子に対する $\bar{z} = -D$ に対する ζ の値を求めた他, $\bar{z}$ を平均水面位置から遊水室隔壁下端

Fig.1 Simplified plan view of experimental flume

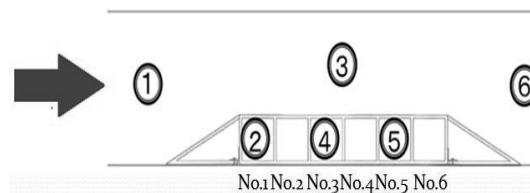


Fig.2 Water chambers and water level measuring points

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

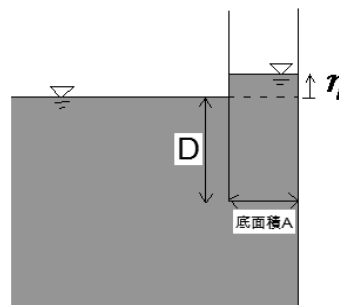
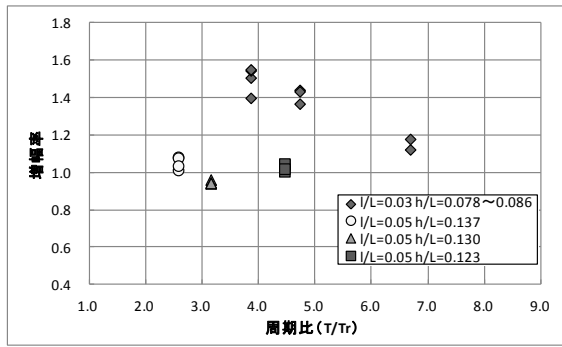


Fig.3 Water level in the chamber

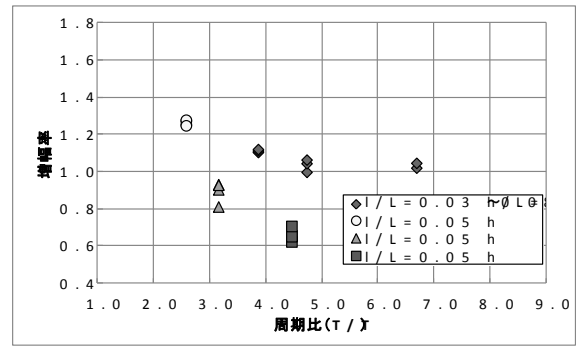
3. 実験結果の検討

Fig.5は水塊上下動の振幅と遊水室隔壁喫水深の比 ζ/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 $\bar{z}=0 \sim -D$ 間の平均値を用いた場合を示したが、 $\bar{z}=0$ に対する ζ 、および $\bar{z}=-D$ に対する ζ 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、 ζ/D による増幅率の増加は見られない。

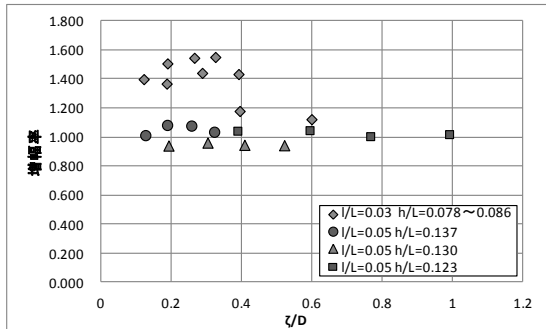
Fig.5 d) より $h/L=0.144$ の増幅率が $h/L=0.137$ の増幅率よりも低い, この事は今後よく検証する必要がある.



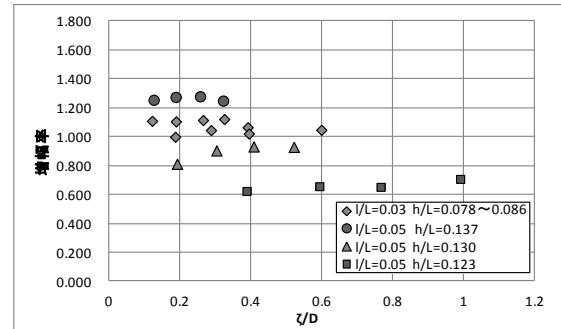
a) Chamber No.1



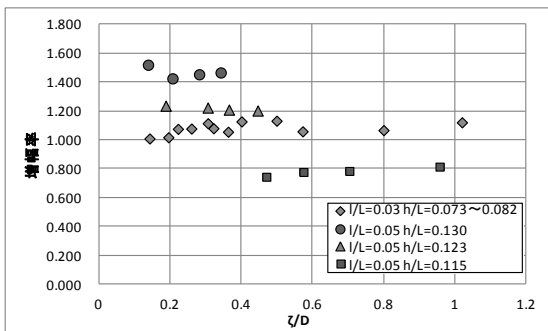
b) Chamber No.5

Fig.4 Relation of amplification and T/T_r for the height of lower end of the chambers 40cm upward from flume bottom

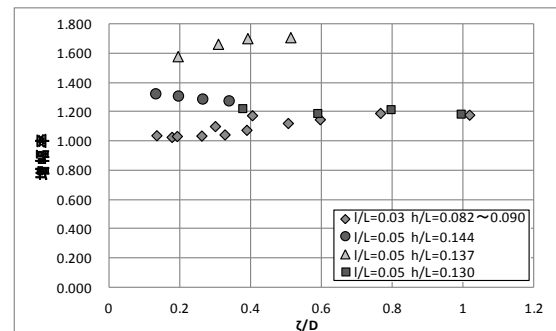
a) Chamber No.1; Height 40cm



b) Chamber No.5; Height 40cm



c) Chamber No.5; Height 45cm



d) Chamber No.5; Height 50cm

Fig.5 Relation of amplification and ζ/D for the various heights of the lower end of chambers from flume bottom

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を行なった. 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 l/L , 相対水深比 h/L , 水塊上下動振幅・喫水深比 ζ/D)により調べた. その結果, $l/L=0.03$ と $l/L=0.05$ とで増幅率の変化特性が異なっていた. $l/L=0.03$ 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. $l/L=0.05$ の場合では, 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 ζ/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, より長い遊水室模型を用いて実験を行なうと共に, 遊水室の構造についてさらに詳細な検討を行なう予定である.

参考文献

- 1) 羽田野袈裟義, 種浦圭輔, 渡邊誠, 中野公彦, 斉藤俊, 松浦正己: 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) Koirala, P., Hadano, K., Nakano, K. and Taneura, K.: Dynamics Model of Movable Body-type Wave Energy Converter Considering Two Dimensional Motions Of The Float, Doboku Gakkai Ronbunshuu B, Vol.65, No.3, pp.179-189, 2009.
- 3) 種浦圭輔, 羽田野袈裟義, 米山治男, 池上国広, 中野公彦: 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) 羽田野袈裟義, 松岡克弥, Koirala, P., 中野公彦, 種浦圭輔: 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) 神野充輝, 小野塚孝, 中村孝幸: 遊水室型海水交換防波堤の実海域での適用事例と導水特性について, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp.747-751, 2010.
- 6) 中村孝幸, 塚原靖男, 日高達也: 浮体式構造を想定した鉛直混合促進装置の開発に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, pp.1186-1190, 2010.
- 7) 小島朗史, 鈴木諭司, 合田良實: 波力発電ケーソンの空気出力に関する理論および実験, 第 30 回海岸工学講演会論文集, pp.638-642, 1983.
- 8) 益田善雄: 日本の波力発電, 霞出版社, 1987.
- 9) 高橋重雄, 安達崇: 固定式水柱振動型波力発電システムの設計と実験的検証, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp.837-841, 1988.
- 10) 品川亮, 羽田野袈裟義, 種浦圭輔, 原田辰一, Pallav Koirala, 大西季秋: 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.