

## PW-OWC 型波力発電装置の空気室体積が一次変換係数に及ぼす影響

## Effect of the air chamber volume on the primary conversion performance of PW-OWC type wave energy converter

○木原禎之<sup>1</sup>, 居駒知樹<sup>2</sup>, 恵藤浩朗<sup>2</sup>, 増田光一<sup>2</sup>\*Yoshiyuki Kihara<sup>1</sup>, Tomoki Ikoma<sup>2</sup>, Hiroai Eto<sup>2</sup>, Koichi Masuda<sup>2</sup>

It was confirmed that the primary transformation performance of PW-OWC type wave energy converter was greatly influenced by the motor response and the effectiveness of PW was also confirmed in existing studies. Water surface fluctuation and pressure fluctuation inside the air chamber depend on the primary conversion coefficient. It is considered that the air chamber characteristics change depending on the shape and size of the air chamber. However, specific research has not been conducted in previous studies. Therefore, focusing on the air chamber volume of PW-OWC type wave energy converter, the influence on the primary conversion coefficient when volume was changed by the theoretical calculation was confirmed.

## 1. 緒言

半永久的な利用が可能な再生可能エネルギーとして波エネルギーが注目されており, 実用化に向け様々な研究開発が進められている. 振動水柱型 (Oscillating Water Column : OWC) 波力発電装置 (Wave Energy Converter : WEC) は, 入射波によって装置内部の水柱が振動し, 空気室内の空気を圧縮することで空気流を引き起こし, タービンを回転させ発電する方式である. 波エネルギーから空気エネルギーへの変換効率である一次変換係数の向上を目的とした, プロジェクティング・ウォール (Projecting Wall : PW) の設置が検討され, 装置内の OWC の固有周期に依存するという課題を解決した<sup>[1][2]</sup>. 浮体式 PW-OWC 型 WEC について, 高島の研究<sup>[3]</sup>により, PW による一次変換係数の向上が確認され, 同時に運動応答の影響が大きいことが確認された. OWC における発電性能は, 空気室内の圧力, 水面変動量から一次変換係数を算出するが, これらは, 空気室の形状, 体積の違いで変化すると考えられ, 既存研究<sup>[3]</sup>では検討されていない.

よって, 本研究は PW-OWC 型 WEC の空気室体積の変化による一次変換特性の影響を理論計算により考察することを目的とする.

## 2. 理論計算

流体力解析には, 線形ポテンシャル理論に基づいて, グリーン関数法を適用した居駒らの手法<sup>[4]</sup>と, 運動応答を考慮した高島の手法<sup>[3]</sup>を用いる. 空気室内の自由表面条件式に対し, 空気室から外に向けて発生する空気の流出入に起因するダンピング効果を負荷係数  $\alpha$  として与え, タービンや発電機の負荷を模擬した計算を行っている.

空気室内が密閉された状態で空気の圧縮が断熱的に

行われると仮定すると, 体積変化に伴う圧力方程式はボイル・シャルルの法則の状態方程式により, 空気室内圧力  $P_a$  は (1) 式で求められる. なお,  $V_0$ : 空気室内初期圧力,  $P_0$ : 初期圧力,  $v$ : 空気室内体積変動,  $\gamma$ : 比熱比 (= 1.4) とする.

ここで, 空気室自由表面は空気室内の圧力と自由表面の圧力が釣り合っている力学的条件を満たし, 以下の (2) 式で表される. 係数  $\alpha$  は, (3) 式で与えられ,  $0.0 \leq |\alpha| \leq 1.0$  の範囲,  $0.0$  の場合解放された通常自由表面,  $1.0$  の場合空気室が密閉された状態を表す.

$$P_a(t) = P_0 + \frac{\gamma P_0}{V_0} (\alpha_c - i\omega\alpha_s) v \quad (1)$$

$$K\phi - \frac{\partial\phi}{\partial z} = \alpha \frac{\gamma P_0}{\rho g V_0} \cdot v \quad (2)$$

$$\alpha = \alpha_c - i\omega\alpha_s \quad (3)$$

計算モデルは高島が適応したモデル<sup>[3]</sup>を使用し, Fig. 1 に示す. PW 長さ  $L_h$  を 0.28m とし, 空気室高さ  $d_a$  を 0.075~0.75m の範囲を考える. 空気室体積は水線面積  $A_w$  を乗じた値で求められ, 水線面積  $A_w$  は  $B \times L = 0.3m \times 0.3m = 0.09m^2$  とする. 計算諸元は, 水深  $h$  を 0.8m, 入射波周期  $T$  を 0.65~2.1 秒, 係数  $\alpha$  は  $4.3 \cdot 10^{-3}$  とし (2) 式の虚部に適応する.

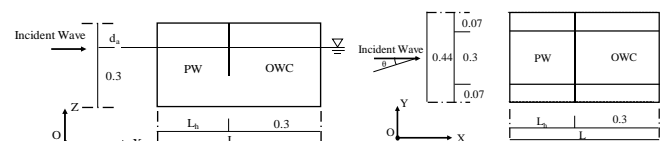


Fig 1 PW-OWC model

1 : 日大理工・院 (前)・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Graduate School of Nihon University  
2 : 日大理工・教員・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Nihon University

### 3. 結果及び考察

Fig. 2～Fig. 4 に水面変動，圧力変動，一次変換係数の結果を示す．運動応答の影響について考察するために固定式との比較を行う．空気室の体積は，空気室の高さの変化によって表現している．6 自由度の運動について結果の一部を Fig. 5～Fig. 7 に示す．いずれも横軸は波長  $\lambda$  を浮体長さ  $L$  で無次元化し，縦軸は水面変動  $\eta$  を振幅  $a$  で，圧力変動については  $\rho ga$  で無次元化している．

水面変動，圧力変動，一次変換係数すべての結果において  $\lambda/L=2$  付近で最初のピークがあり，OWC の固有周期によるものだと考えられる．浮体式と固定式を比較すると， $\lambda/L=4$  付近で浮体式の一次変換係数の急激な落ち込みがみられ，対称に固定式では緩やかな値の上昇が確認される．固定式においては PW の固有周期が現れた結果といえる．

固定式での空気室高さごとの結果は，空気室容積が最大である空気室高さ 0.75m において，短周期側の空気室内部圧力が低く，水面変動量が大きくなり一次変換効率が上がっている．空気室高さが高くなるほど空気の変動する容積が多くなり浮体による減衰効果もないため効率が良くなった．

浮体式での空気室高さの結果では，短周期側で良好な値を表し，長周期側で値の落ち込みが確認できる．特に 0.75m の結果では喫水の 2 倍以上の高さを設定しており，空気室体積が過大になっていることから，影響が顕著に確認できる．このことから，喫水以上の空気室高さを設けると，水面変動が大きくなるが，空気室内に働く圧力が極端に下がり一次変換効率は低下してしまうといえる．

### 4. 結言

以下に本研究で得られた知見を記す．

全体のモデルの傾向として，一次変換係数は空気室高さが大きくなると短周期側でのピークの値は上がるが，長周期において効率が落ちる．空気室が高くなるほど，空気室体積が大きくなり，圧力が低下し，発電効率が下がるといえる．

固定式においては，空気室内の圧力が低下し，水面変動が大きくなるほど一次変換係数が上がる．

空気室の取り扱いについて，本研究では，ノズルやオリフィスを当てはめた計算方法ではなく，自由表面条件に係数を設けて計算しているため，実験の傾向を再現は可能だが，空気室自体の空気特性に疑問が残る．今後，空気室のモデル化を行うため，生じる影響，原因を明らかにすることが求められる．そのため，空気室特性，振動水柱特性を確認するための水槽実験を行う．

### 5. 参考文献

- [1] 居駒知樹，増田光一，大森光，大澤，宮崎剛，木原一禎：「OWC 型波エネルギー変換装置の PW が一次変換性能に与える効果」，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.69(2013)，pp.I-1120-1125，2013
- [2] 居駒知樹，恵藤浩朗，増田光一，木原一禎，渋谷吾吾：「二重消波ケーソンの振動水柱型波力発電装置としての性能に関する研究」，沿岸域学会誌，Vol.30，pp.55-66，2017.12
- [3] 高島まどか，居駒知樹，増田光一，前田久明，恵藤浩朗：「プロジェクトニング・ウォール付浮体式波力発電システムの一次変換特性」，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 22 号，2016S-GS6-16，pp.613-616，2016.5
- [4] 居駒知樹，増田光一，林昌奎，前田久明：「振動水中型波エネルギー吸収機構を考慮した 3 次元流体力の直接解法」，日本船舶工学会論文集，第 12 号，2011

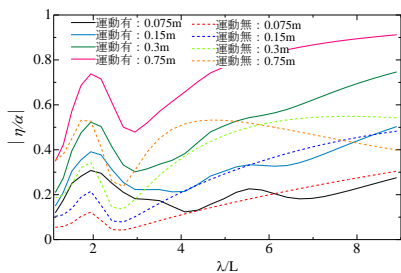


Fig. 2 water elevation in air chamber

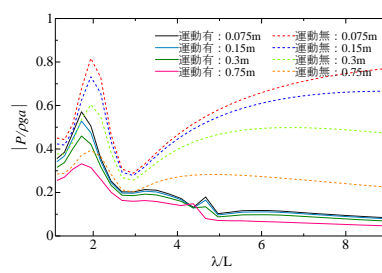


Fig. 3 Air pressure in air chamber

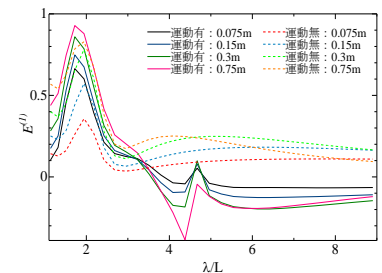


Fig. 4 Primary conversion efficiency