

PW-OWC 型波力発電装置の入射波角度が一次変換性能に与える影響に関する検討 Study on the Effect of Incident Wave Angle on the Primary Conversion Performance of PW-OWC Type WECs

○桑田愛理¹, 居駒知樹², 譚雷², 相田康洋²
*Airi Kuwata¹, Tomoki Ikoma², Rei Tan², Koichi Masuda²

This paper describes resonance characteristics of water regions of OWC type WEC models installed with projecting-walls, which is called as a PW-OWC device. We can easily improve PTO performance of an OWC type WEC device by installing projecting walls on in front of it. Behaviors of the resonances is complex because we can change the resonance characteristic by varying a damping effect which decides a PTO characteristic. However the resonance characteristics have not clarified yet. The paper shows the resonance behaviors of OWC and a water region surrounded by the projecting-walls.

1. 諸言

現在欧州では、波力発電開発の見直しが行われ、積極的に実用化に向けた研究が進められている。将来的な海洋再生可能エネルギーのさらなる活用の拡大を考慮すれば日本でも波力発電の検討はさらに必要不可欠だと考える。本研究は、入射波角度を変化させた一次変換特性の変化について検討し、PW-OWC 型波力装置の性能に与える影響について考察する。また、パワーテイクオフ (PTO) を決定するダンピング係数の大小による一次変換特性そのものの変化についても考察することを目的として実施した。

2. 理論計算

本研究では周波数領域での線形ポテンシャル理論による速度ポテンシャルの結果から PW-OWC 型装置の一次変換性能を求める。自由表面条件の運動条件において空気室を考慮し、自由表面は空気室内の圧力と釣り合うことから空気室内の自由表面条件は以下のように求められる。

$$K\phi - \frac{\partial\phi}{\partial z} = \alpha \frac{\gamma p_s}{\rho g V_0} v \quad (1)$$

ここで K は ω^2/g であり、 ω は角周波数、 g は重力加速度である。 ϕ は周波数領域での速度ポテンシャルで、複素数である。 γ は比熱比であり、本研究では 1.4 である。 p_s は空気室の初期圧力、 V_0 は空気室の初期容積である。 ρ は周辺の流体密度である。 v は空気室の体積変化、 α は電力吸収による減衰係数であり以下のように求められる。

$$\alpha = \alpha_c - i\omega\alpha_s. \quad (2)$$

空気圧縮以外のパワーテイクオフ (PTO) を考えた場合、実部 α_c をゼロとすることができる。 α をゼロとすると、自由表面は大気と同じであり、PTO はないことになる。

また、速度ポテンシャルを解くために、グリーン関数法を適用した。グリーン関数は、物体表面と空気室内の自由表面を除く、境界条件を満足する。空気圧と体積変化を含む境界積分方程式を直接解くことで、次のように伝達される波パワー吸収量が求められる。

$$P_A = A_W \text{Re} \left[\frac{1}{4} \{ p_a(-i\omega\eta)^* + p_a^*(-i\omega\eta) \} \right] \quad (3)$$

ここで A_W は空気室の水線面積、 p_a は空気圧、 η は空気室の平均水位、上付き添え字の*は複素共役を意味する。

入射波パワーは以下のように求められる。

$$P_i = TB \frac{\rho g^2 a^2}{8\pi} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \tanh kh \quad (4)$$

ここで、 T は波周期、 B は装置幅、 a は振幅、 h は水深、 k は波数である。

一次変換係数 $E^{(1)}$ は次のように求められる。

$$E^{(1)} = \frac{P_A}{P_i} \quad (5)$$

3. 計算モデル及び計算条件

一次変換係数を変化させるために、ダンピング係数 α は 4.5×10^{-3} と 4.5×10^{-4} でピークの出現の違いを比較する。その後、Figure.1 に示す計算モデルを基本とし、入射波角度を 0 度から 180 度まで変化させた。

計算モデルは全て模型スケールとしたが、波周期の範囲は 0.5 秒から 2.5 秒であり、1/25 スケールでは 11m 程度の浮体幅で約 10 秒までの波浪に対して、1/50 スケールでは 22m 程度の浮体幅で約 16 秒までの波浪に対する評価となる。

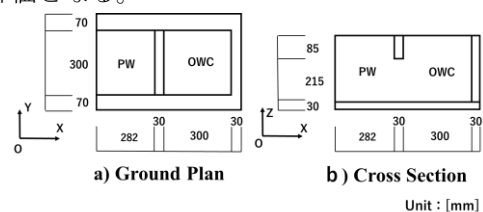


Figure1. Plans and cross section

4. 結果及び考察

Figure.2 はダンピング係数を変化させた際の一次変換係数の比較である。横軸を波長とモデルの全長との比で示している。一次変換係数は OWC 共振と PW に囲まれたハーバー部の共振に起因する二つのピークが確認できる。短波長側のピークは PW の効果であるハーバー共振によるものであり、長波長側のピークは OWC 共振によるものである。ダンピング係数 4.5×10^{-3} の場合はシングルピーク、 4.5×10^{-4} の場合はダブルピークが出現することがわかる。ダブルピークの結果において、 $\lambda/L=0.8$ 付近で小さなピークが確認できるが性能効果によるものとは考えにくく、調査中である。また、シングルピークの場合、ピークに対応する周波数はダブルピークの周波数の間に存在する。

以上のことから PTO の負荷を決定するダンピング係数を変化させることでピークの回数を制御し、ピーク周波数を設定することができることが明らかとなった。

Figure.3 はダンピング係数を 4.5×10^{-4} に設定した時の入射波角度の変化による一次変換係数の変動を示す。 $\lambda/L=1.0$ 付近に鋭いピークがあるが、この原因はまだ不明である。 $\lambda/L=2.0$ 付近のピークは PW に囲まれたハーバー部における共振によるもので、 $\lambda/L=5.0$ 付近のピークは OWC における共振によるものである。また、0 度に相当する正面からの入射波では一次変換係数が大きくなっている。しかし、90 度から 180 度の角度の一次変換係数は悪くならず、むしろ 180 度で最小にならない。しかし、PW に囲まれたハーバー部における共振によるピークは、基本的に波角が大きくなると

減少する。それでも、90 度の場合のピーク値は、0 度の場合の半分程度にしか減少しない。

この結果から、PW-OWC 型は入射波角の変化に対する冗長性が高いことがわかる。また、入射波の角度によって、 λ/L のピークが変化することはない。このことから、OWC における共振だけでなく、PW に囲まれたハーバー部における共振も入射波角度に影響されることがわかる。

Figure.4,5 はそれぞれ入射波角度を変化させた時の OWC 内部圧力変動と水面変動の結果である。それぞれ 2 か所のピークを確認でき、これは一次変換係数のピーク周波数と重なっている。特に、圧力変動は PW に囲まれたハーバー共振のピークも大きく確認することができるため、空気圧力の影響が装置の性能に影響を与えていると言える。

5. おわりに

本研究から、PW-OWC 型波力発電装置は、波角や波周期などの波浪条件に対して冗長性が非常に高いことがわかる。また、PTO の負荷を変更することで、波周期特性の季節変動にも対応できるようになる。

参考文献

[1] Ikoma T., Masuda K., Omori H., Oswa H. and Maeda H., "Improvement of Wave Power Take-Off Performance Due to the Projecting Walls for OWC Type WEC," Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013), OMAE2013-10384, ASME, 2013.

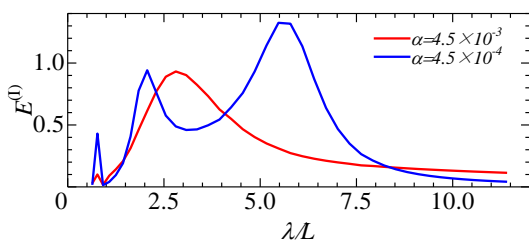


Figure.2 Primary conversion coefficients due to variation of damping factor

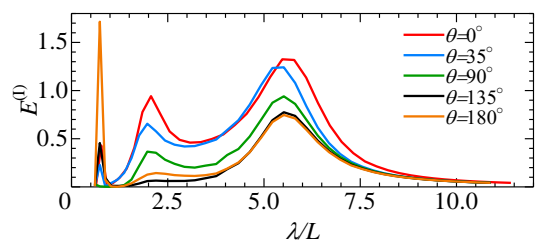


Figure.3 Primary conversion coefficient due to variation of incident wave angle

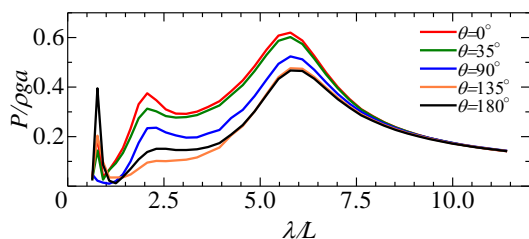


Figure.4 Pressure fluctuation in OWC due to change of incident wave angle

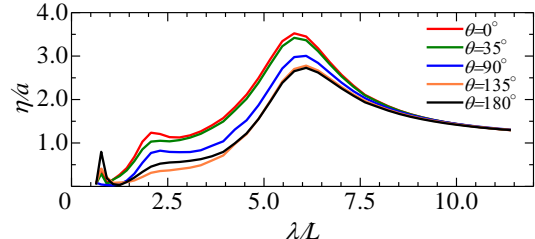


Figure.5 Variation of water surface in OWC due to change in angle of incident wave