

プロジェクティングウォールが OWC 型波エネルギー変換装置の一次変換性能に与える効果

— 第 2 報 浮体動揺の影響 —

正会員 居 駒 知 樹* 正会員 大 森 光**
 正会員 増 田 光 一* 正会員 大 澤 弘 敬***
 学生会員 田 口 裕 之****

Effects of Projecting Walls to the Efficiency of Primary Conversion of OWC Type WECs
 - The 2nd report, Influence of motion of WEC in waves -

by Tomoki Ikoma, Member Hikaru Omori, Member
 Koichi Masuda, Member Hiroyuki Ohsawa, Member
 Hiroyuki Taguchi, Student Member

Key Words: PW-OWC, Efficiency of Primary Conversion, WEC

1. 緒 言

近年、波浪エネルギーは利用可能な再生可能エネルギーとして認知されつつある。しかし、風力や太陽光と比べて発電単価が高いことが実用化の障害となっている。そのため、発電出力を向上させることが重要だと考えられる。そこで、波浪発電装置の実用化に向け波浪エネルギー利用技術の研究開発⁴⁾が行われている。

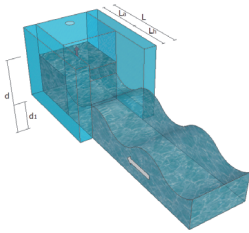


Fig. 1 OWC type wave power absorbing device with PW

第 1 報⁵⁾では理論計算の三次元特異点分布法を基に PW (Projecting-Wall) 付 OWC (Oscillating Water Column) 型波エネルギー変換装置の有用性について検討を行った。PW の長さが内部水面変動、内部圧力に影響を与えるため、一次変換性能が著しく変化することを確認した。

実海域において波向は一様でなく、季節や時間によっても変化する。本研究では、PW 付 OWC 型波エネルギー変換装置を沖合に設置した場合を想定し、固定式および浮体式の一次変換性能の評価を水槽実験により実施した。本報では、固定式および浮体式では、PW 長さが異なる 2 種類の模型で水槽実験を行い、正面波および斜波中での一次変換性能変化と、PW 長さによる影響について考察する。また、浮体式では浮体動揺も計測し、これが装置の一次変換性能に与える影響を考察する。

* 日本大学理工学部海洋建築工学科
 ** 株式会社 IHI エスキューブ (研究当時日大院生)
 *** 独立行政法人海洋研究開発機構
 **** 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻

原稿受付 平成 25 年 4 月 12 日
 春季講演会において講演 平成 25 年 5 月 27, 28 日
 ©日本船舶海洋工学会

2. 一次変換性能算出方法

波パワー吸収の評価は周波数領域の定式化を用い、実験値からはフーリエ変換の 1 次フーリエ係数のみを用いて評価できる⁵⁾。時系列データの直接積分とほとんど差がないことがすでに確認されている。

入射波パワー P_I と波パワー吸収量 P_A との比率により求める。まず、 P_I は水の密度 ρ 、入射波の振幅 a 、空気室幅 B 、水深 h 、波数 k を用いて表すことができる。

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

で定義する。ただし、水の密度 ρ 、入射波の振幅 a 、OWC 装置全幅 B 、水深 h 、波数 k 、周期 T 、重力加速度 g とした。波パワー吸収量 P_A は、

$$P_A = A_w \cdot \text{Re} \left[\frac{1}{4} \left\{ p(-i\omega\eta)^* + p^*(-i\omega\eta) \right\} \right] \quad (2)$$

で定義する。ただし、水線面積 A_w 、内部水面変動 η 、内部圧力 p 、周波数 ω 、複素共役*、虚数単位 i とした。

一次変換性能 $E^{(1)}$ は、次式で定義する。

$$E^{(1)} = \frac{P_A}{P_I} \quad (3)$$

3. 水槽実験

模型を使用した水槽実験は、日本大学理工学部テクノプレース 15 の海洋建築工学水槽にて実施した。水槽規模は、長さ 24m、幅 7m である。模型スケールは実機の 1/50 程度とし、入射波条件は実験水深 0.95m、波高 0.02m、波周期 0.7 秒~1.75 秒とした。斜波条件は 0° (正面波)、15°、30°、45°、60°、90° の 6 ケースで行った。実験による斜波中の再現は、水槽に対して模型の設置角度を変え行なった。

固定式および浮体式の共通の計測項目は内部水面変動を 6 本弦の橢圓型容量式波高計を 3 本、空気室内部圧力は圧力センサーを使用し計測を行った。浮体式においてはポジションセンサーを使用し計測を行った。

4. 固定式実験

4. 1 実験概要

固定式の実験は、水槽に常設されている可動式のキャ

リッジに設置し行なった。斜波中での PW の効果を明確にするため、PW 無しの OWC 装置と PW 有りの OWC 装置を用いた。また長さの異なる 2 種類の PW を使用した。模型諸言を Figs.2 と 3 ならびに Table 1 に示す。

Table 1 Principal particulars of experimental model

Type	B_o (m)	B (m)	L_h (m)	L_a (m)	d (m)	d_i (m)
Simple	0.300	0.440		0.300	0.300	0.215
A	0.300	0.440	0.219	0.300	0.300	0.215
AB	0.300	0.440	0.282	0.300	0.300	0.215

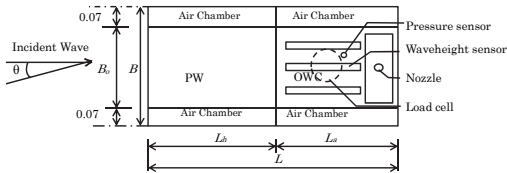


Fig. 2 Horizontal plan of PW-OWC model

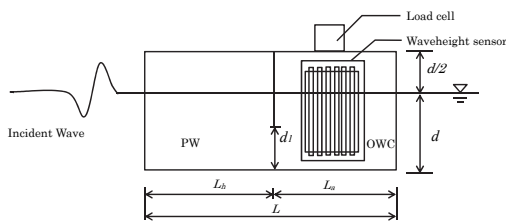


Fig. 3 Section plan of PW-OWC model

4. 2 結果及び考察

Figs.4~7 に実験を行った斜波条件の内 0° , 30° , 60° , 90° における、PW 無しの OWC 装置 Type Simple と PW 有りの OWC 装置 Type A および Type AB の一次変換性能の結果を示す。横軸は全長の異なるタイプで比較を行うため全ての模型に対して共通である OWC 部の長さ L_a を用いて波長 λ を無次元化した。

正面波中での結果である Fig. 4 において、Type Simple と Type A, Type AB の結果をそれぞれ比較すると、 $\lambda/L_a < 4$ の短波長域では一次変換性能に差は小さい。しかしながら、 $\lambda/L_a > 6$ の波長域では、PW なしの場合には係数の立ち上がりは大きく見込めないが、PW 有の 2 つのモデルの係数が増大する。結果としては、Type AB が最も一次変換性能は高く、 $\lambda/L_a = 8$ では Type Simple に対しほぼ倍の性能を示した。

Fig. 5 の入射角度 30° の結果では、Type A と Type AB が $\lambda/L_a = 8-9$ で係数のピークを示す。特にそれ以上の長波長域で正面波中同様に PW の効果により性能が良くなることがわかる。

Fig. 6 の入射角度 60° の結果では、やはり長波長域において PW の効果がみられる。この角度では Type AB より Type A のほうが一次変換性能は高くなった。

Fig. 7 の入射角度 90° の結果では、タイプによる性能の差が小さくなっている。しかしながら、それでもなお Type A は PW なしのモデルよりも平均的に 2 倍程度性能は高い。Type AB と Type A ではどの波長域でも Type A の方が一次変換性能は高くなった。

一般的に入射角度がつくことにより波吸収性能が下がることは当然である。PW の効果により波パワー吸収の基本性能が、特に長周期（長波長）側で大きく向上しているため、斜波中で性能が低下したとしてもその絶対量は PW なしと比べれば明らかに大きい。具体的には PW なし

の正面波中での性能と PW 有（Type A）の横波中での性能はほぼ同等である。

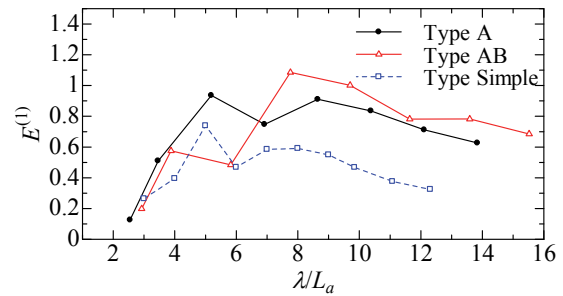


Fig. 4 Primary conversion efficiency in 0 degrees waves

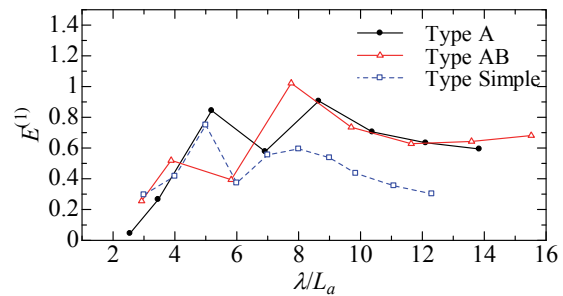


Fig. 5 Primary conversion efficiency in 30 degrees waves

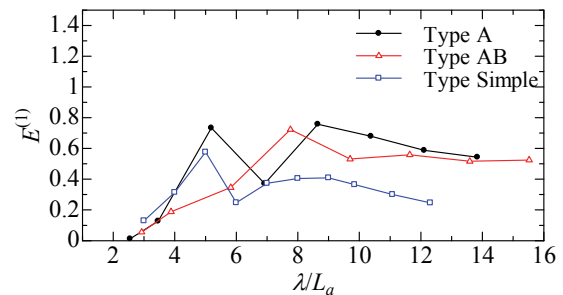


Fig. 6 Primary conversion efficiency in 60 degrees waves

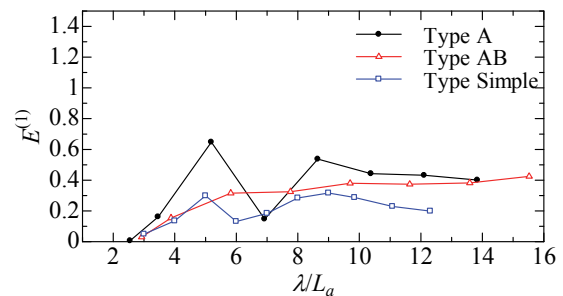


Fig. 7 Primary conversion efficiency in 90 degrees waves

角度が大きくなるに従い、PW 長さの違いによる性能の大小が逆転する結果が見られた。これは PW に入射する相対的な入射波長が変化するため、角度が大きい場合には短い PW の方が PW 内での定常波が発生しやすくなったのではないかとと思われる。つまり、波長と PW 長さの関係は波パワー吸収性能に大きく影響すると考察できる。これについてはこれまでの理論計算などからの知見⁵⁾と同様であり、妥当な結果といえる。

Figs.4~7 から Type Simple, Type A において $\lambda/L_a = 6$ で性能が明らかに落ち込む。Type A においては $\lambda/L_a = 6$ 付近の計測点数が少ないため、どの波長で性能が低下するか

を明確にすることができなかつた。Type AB においては $4 < \lambda/L_a < 8$ の間を $\lambda/L_a = 6$ の一点しか計測していないが、Type Simple と Type A 共に性能が極端に低下しているため、Type AB も同様に低下する点が存在すると考えられる。これらの点は最も性能が良い波長の間にあるため、今後この原因を明確にし、このような性能低下を低減する必要がある。ただし斜波中で角度が変化するとこの落ち込む波長域が長周期側にずれる現象も見られる。よって、「落ち込む」ことが理由だけでなく、その手前の短波長域での 1 つ目のピークが逆に特徴的である可能性も大きい。PW なしにおいては OWC の固有周期はこの波長域ではないので、やはり同様に原因を明らかにする必要がある。

以上の結果より、基本的に PW は長い方が有利であるが、想定される入射角度を考慮してより広い波長域で入射角度に対する冗長性を検討することが今後の課題ともいえる。

5. 浮体式実験

5.1 実験概要

浮体式実験において、PW 無しの OWC 装置は固定実験結果より、Type A, Type AB に比べ、大きく値が出なかつたため、係留実験は行わなかつた。模型諸言を Figs. 8, 9 および Table 2 に示す。

Table 2 Principal particulars of experimental models

Type	B_o (m)	B (m)	L_h (m)	L_a (m)	d (m)	d_1 (m)	G_1 (m)	G_2 (m)
A	0.300	0.440	0.219	0.300	0.300	0.215	0.197	0.306
AB	0.300	0.440	0.282	0.300	0.300	0.215	0.189	0.320

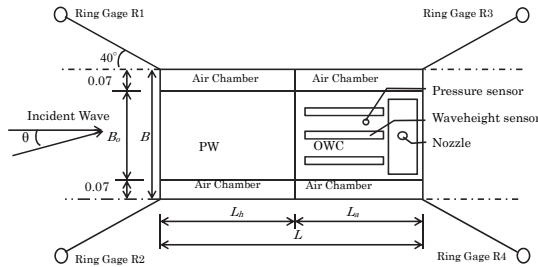


Fig. 8 Horizontal plan of experimental setup system

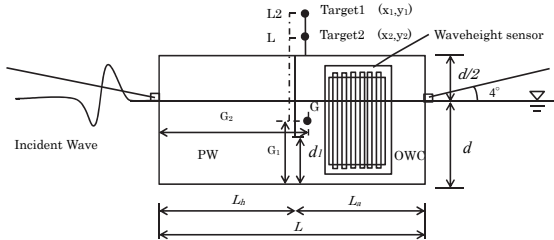


Fig. 9 Section plan of setup system

浮体応答を計測するためのターゲットは浮体重心上部に設置し、2点のターゲットから、浮体の重心の応答を算出した。回転運動は2点のターゲットの座標から

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) \quad (4)$$

を使用し算出した。計測にはビデオトラッカーシステムを適用し2次元解析のみ実施した。ただし、本実験計測では浮体模型と撮影カメラの位置関係は固定された。そのため、斜波中での計測時にはカメラを固定した2次元計測なので、結果的に物体(模型)座標上での運動が2

次元で計測されている。90°の横波においても波向きに対して左右非対称モデルであるので、物体座標上では Surge や Pitch 運動が発生することになる。

5.2 結果及び考察

Figs. 10~13 に実験を行った斜波条件の内 0°, 30°, 60° と 90°での Type A, Type AB の一次変換性の結果を示す。横軸は全長が異なる模型で比較を行うため両モデル共同じである OWC 部の長さ L_a で無次元化した。Fig. 14 に Type A の一次変換性能を入射角度毎に比較しながら示し、Figs. 15~17 に Type A の Surge 運動, Heave 運動, Pitch 運動の正面波中及び斜波中での結果を示した。これらの結果から総体的に高い性能を示した Type A について斜波中における浮体応答と一次変換性能の関係について考察を行う。ただし、Figs. 15~17 の横軸は PW と OWC を合わせた全長 L で無次元化した。

Fig. 10 の正面波中での Type A と Type AB の結果の比較からは両者に顕著な性能の差を見ることはできなかつた。先述した固定実験の結果と比較すれば、性能は半分以下に下がっている。ただし、Fig. 4 の PW 無モデルに近い性能が確認できた。

Fig. 11 の入射角度 30° においても2つのタイプで同じような性能を示した。ただし、次の Fig. 12 でも見られるように $\lambda/L_a = 5$ 付近のピークは明らかに Type A の方が大きくなるようである。これは固定実験の傾向と同様である。

Fig. 12 の入射角度 60° では、 $\lambda/L_a = 5$ において Type A が Type AB よりも先述したとおりの高い値を示した。しかし、 $6 < \lambda/L_a < 10$ では Type AB の方が高い値を示した。

Fig. 13 の入射角度 90° では 60° の場合と同様な傾向がみられる。しかしながら、60° のときよりも波パワー吸収性能は明らかに高くなっている。本実験では λ/L_a が 4~7 で3点しか計測されておらず、一次変換性能のピークの点を明確にすることができなかつた。そのため、今後この点に関して明確にする必要がある。

次に、より高い性能を示した Type A において浮体応答と一次変換性能の関係を考察する。

Fig. 14 の Type A の一次変換性能、Fig. 15~17 の Type A の Surge 運動, Heave 運動, Pitch 運動を比較すると一次変換性能のピークである $\lambda/L = 3$ で Surge 運動の値が大きくなっている。また、 λ/L が 4 以降では Heave 運動が大きくなり、水柱と浮体運動が同様に運動してしまったため空気エネルギーへの変換が困難になる状況が生じたと考えられる。そのため、一次変換性能が低下したといえる。しかし、6自由度の運動すべてを計測していないことから、より明確な考察を行うために今後、6自由度すべての計測を行う必要がある。

6. 結 言

- 1) OWC 型波吸収装置に対して PW は入射角度を問わず極めて有効である。
- 2) 正面波中では PW が長い方が一次変換性能は向上するが、斜波中ではその特性は変化する。
- 3) 浮体式においては、正面波中より 90° 入射で高い性能を示し、浮体応答に依存すると考えられる。
- 4) 浮体式に対し固定式の方が総体的に高い一次変換性能を示すが、短波長域では浮体式が固定式より性能が高くなる場合があることがわかつた。

謝 辞

本研究は中濱玄氏（当時日本大学）に協力していただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 大澤弘敬, 宮崎剛, 鷺尾幸久, 堀田平, 宮崎武晃: 波浪エネルギー利用技術の研究開発-沖合浮体式波浪装置「マイティーホエール」の開発-, JAMSTEC, 丸庄有限会社, 2004.
- 2) 大澤弘敬, 居駒知樹, 宮崎剛, 増田光一, 米野秀人: 多重共振型波エネルギー吸収機構に関する実験, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 4 号, pp.47-50, 2007.
- 3) 居駒知樹, 大澤弘敬, 増田光一, 富沢祐也: 人工ハーバー付 OWC 型波エネルギー吸収装置に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 8 号, pp.119-122, 2009.
- 4) 大澤弘敬, 居駒知樹, 増田光一, 藤田裕貴, 生貝真理子, 市村将太: 人工ハーバー付 OWC 型波エネルギー吸収装置に関する研究-第 2 報 3 次元影響とハーバーの効果-, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 10 号, pp.263-266, 2010.
- 5) 居駒知樹, 増田光一, 大森光, 大澤弘敬, 前田久明: プロジェクティングウォールが OWC 型波エネルギー変換装置の一次変換性能に与える効果, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第 12 号, 2012.

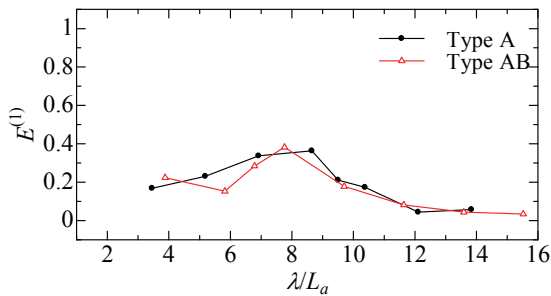


Fig. 10 Primary conversion efficiency in 0 degrees waves

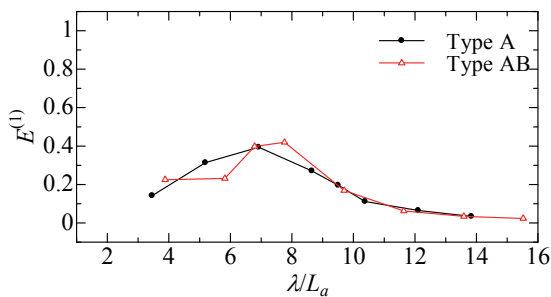


Fig. 11 Primary conversion efficiency in 30 degrees waves

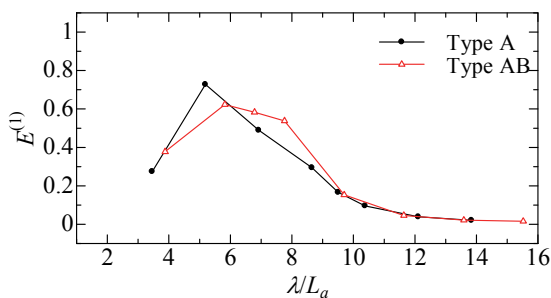


Fig. 12 Primary conversion efficiency in 60 degrees waves

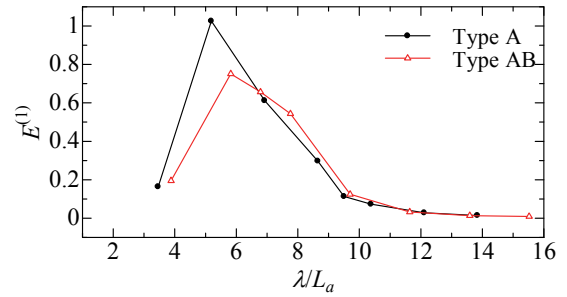


Fig. 13 Primary conversion efficiency in 90 degrees waves

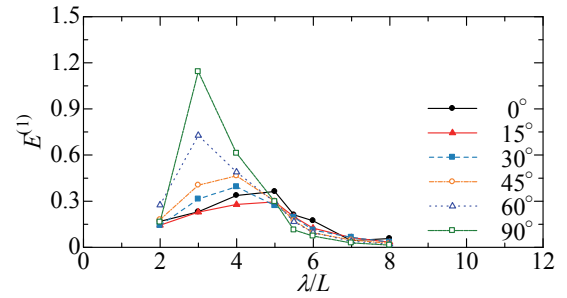


Fig. 14 Primary conversion efficiency (Type A)

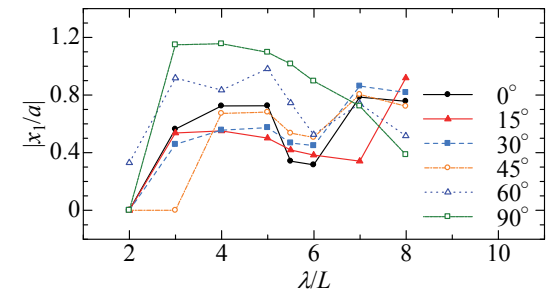


Fig. 15 Response amplitude operator of surge (Type A)

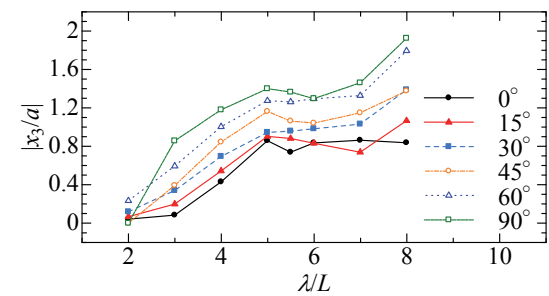


Fig. 16 Response amplitude operator of heave (Type A)

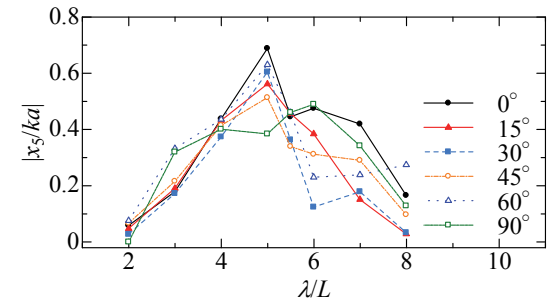


Fig. 17 Response amplitude operator of Pitch (Type A)