

## 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

### The Performance as an OWC Type WEC Replaced From a Wave Dissipating Double-Caisson

居駒 知樹\*・恵藤 浩明\*・増田 光一\*  
木原 一禎\*\*・渋谷 省吾\*\*\*

Tomoki IKOMA, Hiroaki ETO, Koichi Masuda  
Kazuyoshi KIHARA and Shogo SHIBUYA

**要旨**：既設の二重消波ケーソンを改良した振動水柱型（OWC型）波力発電システムが提案されたが、本来は波浪を消波する目的の構造物であり、波パワーを取り出す以前にケーソン自体でそれが損失されてしまう可能性がある。実海域実験の前に基本的な一次変換性能は十分期待できることは確認されているが、今後の商用化を考慮すれば、波浪条件の違いによる波パワー吸収特性の変化について、さらに詳細な検討が必要である。本研究は、水槽実験により二重消波ケーソンをOWC型波力発電装置として利用した場合の基本特性とコンセプトの課題を明らかにすることを目的として実施され、一次変換性能における波高の影響、空気室体積の影響、本装置の斜波性能、圧力位相差の影響の確認を行った。

**キーワード**：振動水柱、波力発電装置、二重消波ケーソン

#### 1. はじめに

波力発電方式の一つとして振動水柱（Oscillating Water Column: OWC）型があり、日本では酒田港などの防波堤に波力発電装置を設置した実証実験<sup>1)</sup>やマイティーホエールのような浮体式での実証実験<sup>2)</sup>などが実施されてきた。OWC型発電装置は振動水柱の上下動によって生じる空気流を用いて発電機に直結する空気タービンを回転させることで発電するシステムである。そのため、空気室内の空気を効率的に動かして大きな空気パワーを作り出すことが重要である。これは一次変換とよばれる過程であり、それを向上させる手段としてプロジェクティング・ウォール

（PW）の設置が検討され、広い波周期域でそれが可能である事が確認されている<sup>3)</sup>。さらに、既存の二重消波ケーソンの前面をPW領域とし後面をOWC領域と考えて波力発電装置とする方法でも十分な波力発電特性を期待できることが、2次元水槽実験と理論計算結果から確認<sup>4)</sup>されている。これらの成果を応用し、実海域での実証実験が計画・実施された。<sup>5)・6)</sup>

実海域実験の前に基本的な一次変換性能は十分に期待できることは確認されているが、今後の商用化を考慮すれば波浪条件の違いによる波パワー吸収特性の変化について、基本的な性能をより詳細にかつ基本的な波条件に対してデータを蓄積す

\* 正会員 日本大学理工学部海洋建築学科, \*\* 正会員 MMブリッジ株式会社, \*\*\* 学生会員 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻

ることが効果的である。また、種々のパラメータ特性に対する詳細な検討は、形状などの異なる消波ケーソンへの当該コンセプトの応用にも有用である。そこで、本研究は二重消波ケーソンを OWC 型波力発電装置として利用した場合の基本特性とコンセプトの課題を規則波中水槽実験により明らかにすることを目的として実施された。

## 2. 一次変換特性による性能評価

OWC 型波力発電には、波パワーから空気流のパワーをつくりだす一次変換過程と、その空気パワーによりタービンに仕事をして発電機を動かす二次変換過程がある。一般的に、直接発電機を波パワーで駆動させなければ、油圧システムを利用した装置でも結局は2つのパワー変換過程が存在する。OWC 型ではそのイメージが付きやすい。

一次変換ではパワー（仕事率）を大きくするために、圧力を上昇させながら同時に空気流の量（流量）を増やしていく必要がある。最適な状態は流量が大きくかつ流速の増速が達成されている状態で、圧力も大きな状態である。このためには OWC 上の空気室に負荷を外部からかける必要があり、それが最終的には発電機によるパワーテイクオフ（PTO）である。発電機を駆動させるために空気タービンを回転させる。このタービンが空気流によって効率的にパワーを得て、それによって発電機を回転させるが、発電機には当然ながら発電負荷があり、この負荷によりタービンの軸パワーが必要となる。図1のように過程の順序は単純であるが、システム全体での連成問題であるので、本来は極めて複雑な系となっている。

さて、本研究ではこの PTO までのシステムを一次変換過程によって評価する。本来は前述した過程全てが考慮される必要があるが、模型実験で形状等々を幾何学的に再現したとしても、タービン性能や発電機性能で相似則を合わせることは困

難であるし、レイノルズ数の観点では物理的に無理である。一次変換で空気パワーを得るためには何らかの負荷が OWC 水面に圧力として作用し、さらに運動が許容されれば良い。負荷の種類は実は何でもよく、それが実際のシステムをどこまで再現しているか否かが問題となる。

本研究ではケーソンを OWC 装置として利用した場合の基本性能を評価することを目的としている。得るべき情報や知見は、本システムでは波パワーを使って、理想的にはどれだけ発電機に仕事をできるか、という指標である。構造体形状をタービンが設置されるダクトを含めて、フルードの相似則に従って縮尺して再現する。結果、レイノルズ数については相似則を合わすことはできない。しかしながら、ケーソンの利用により、どれほどの発電ポテンシャルがあるかを考察するための情報は一次変換性能で検討が付けられる。当然ながら、一次変換と二次変換過程の連成については未だ議論の余地が残る分野であるが、理想的な負荷の状態を調べることに、あるいは本研究のように既設ケーソンの利用可能性を予測する上では一次変換性能を知ることがむしろ重要である。なぜならば、二次変換過程はタービン性能と発電機性能で決まり、システムの設計技術そのものになってしまうからである。



図1 OWC装置のパワー変換過程

## 3. 水槽実験

### 3.1 実験装置と入射波条件

水槽実験は日本大学理工学部船橋校舎テクノブ

レース 15 の海洋建築工学水槽 (平面水槽) で実施された。水槽規模は幅 6.9m, 長さ 24.0m, 常用水深 1.0m であり可動式仮底によって水深は可変である。実験時の模型設置位置での水深は仮底によって調整することで 0.35m とした。入射波は規則波とし、波高は 0.04m と 0.06m, 波周期は 1.0 秒 ~ 1.9 秒の範囲を 11 ケースで実施した。実験結果の再現性を確認するため、計測は 3 回ずつ行った。実験模型は、実機のケーソンや空気室の形状<sup>6)</sup>などを詳細に再現した模型を 1/20 のスケールで製作した。ただし、予算等の理由により、実機では数百メートルを複数並ぶケーソンを 4 列で製作した。発電機に直結する空気タービンが本来設置されるダクト部分をノズルで再現し、そのノズル径を、タービンハブ比を考慮した上での空気流路面積で再現した。ただし、タービンや発電機は設置されていない。

二重有孔消波ケーソンは 2 基で 1 セットの前後二重の配置であり、それを 4 セット並べた状態で製作した。そのうちの 1 セットが本研究で対象とする波力発電装置模型である。図 2 に模型全体の平面図と OWC 装置部の横断面図を、図 3 に実験時の模型設置の様子を写真で示す。ここで、本論文では図 2, b)における網掛け部分を空気室とし、その上部から細くなる角錐状の後半部分をダクトと呼ぶ。また、その先端に水平に取り付ける小さな透明部分をノズルと称することにする。ノズルの直径には、 $\phi=16\text{mm}$  (ノズル比 1/150) と  $\phi=12\text{mm}$  (ノズル比 1/200) の二種類を採用した。実機のそれに対応するノズル比は 1/150 であった。本研究では OWC 水面の面積とノズル面積の比をノズル比と定義している。空気室部分は 3 つの部材から構成されており、中央の部材を抜くことによって空気室体積を変更し、空気室体積は  $V=5.27\times 10^{-3}\text{m}^3$  と  $V=9.08\times 10^{-3}\text{m}^3$  の 2 ケースで実施した。実機の空気室体積は前者であった。空

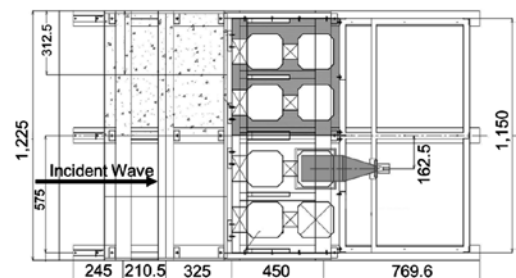
気室高さは内部水面が上部を打ち付けないように設計されており、この 2 種類の体積設定による実験から空気室体積の影響を考察する。

また、実海域実験ではケーソンへの波の入射が斜波であることが想定されるため、斜波中での水槽実験も実施された。入射角度は模型の中心軸と入射波とのなす角が  $10^\circ$  になるよう模型を設置して斜波を模擬し、正面からの波浪中実験の結果と比較する。

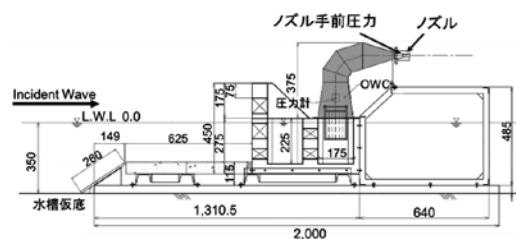
### 3.2 計測項目

実験時の計測項目は次のとおりである。OWC 部の水面となる空気室内水面変動を楕型の容量式波高計で計測することで平均水面変動を計測する。このことにより、空気室の体積変動量すなわちノズルへ送られる空気の流量が推定できる。

その水面直上の空気室内圧力を圧力計にて計測した。この圧力と推定される流量から空気のパワーが推定可能である。



a) 平面図



b) OWC 部の断面図

図 2 模型面図

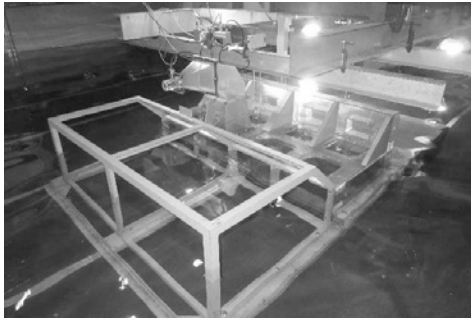


図3 模型設置状況

空気室からダクトを通してノズルが取り付けられているが、そのノズルの直前の圧力を圧力計で計測した。空気室圧力とノズル前圧力などから空気圧縮の可能性について考察可能である。

## 4. 実験データ解析

### 4.1 DFT 解析

実験において入射波は規則波であったが、応答は正弦波ばかりでなくケーソンから水が溢れるという非線形性も空気室の挙動に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、離散フーリエ変換 (DFT) をデータ解析に適用し、2 次成分まで解析した。定常応答時間帯の数波分の平均振幅を適用する。

### 4.2 一次変換係数の算出方法

OWC 型波力発電装置において、入射波のパワーによって空気パワーを作り出す過程を一次変換ということは最初に述べた。空気パワーによって空気タービンで発電機を回転させて発電出力を得るまでの過程を二次変換という。空気室で計測された空気圧力と空気室内の平均水面変動量から空気パワーを算出することができる。本研究では、空気パワーとケーソン 1 基分の幅  $B$  (外径) 分の入射波エネルギーとの比を一次変換係数として定義する。規則波において入射波のパワーは以下の式で与えられる。

$$W_i = \frac{1}{2} \rho g a^2 C \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] B \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\rho$  は水の密度、 $g$  は重力加速度、 $a$  は入射波振幅、 $k$  は波数、 $h$  は水深、 $C$  は波速を表す。 $B$  は二重有孔ケーソンの幅 (外径) であり本研究での数値は  $0.53\text{m}$  である。波の速度と波数は波の分散特性で得られる。

空気室パワーは空気圧と流量の積によって求められる。離散フーリエ解析によって平均水面上昇量は複素変数  $\eta$  として得られる。ただし、1 次成分のみを考慮する。このときの平均水面変動による空気の体積変動  $\Delta V$  は

$$\Delta V = A_w \eta \dots\dots\dots (2)$$

であり、この変動速度は流量  $Q$  そのものである。周波数領域における弱非線形仮定を考慮すれば、離散フーリエ解析から得られた複素圧力  $p_a$  と平均水面変動の 1 次成分から、非線形量である空気パワーは次のように算定できる<sup>3)</sup>。

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

ここで、“\*” は複素共役を意味し、“ $\text{Re}$ ” は複素数の実部のみをとることを意味する。

入射波パワー  $W_i$  と空気パワー  $W_A$  の比により一次変換係数  $E^{(1)}$  を次のように定義する。

$$E^{(1)} = \frac{W_A}{W_i} \dots\dots\dots (4)$$

## 5. 結果および考察

### 5.1 平均水面変動 (空気室内体積変動)

空気室の平均水面変動の一次応答を図 4 から図 7 にそれぞれ無次元波長  $\lambda/L$  に対して無次元値で示す。 $\lambda$  はマウンド前の水深  $0.35\text{m}$  における波長、 $L$  は二重有孔ケーソンの全長 (外径) で  $0.53\text{m}$  を用いた。縦軸は入射波振幅  $a$  を用いて無次元化した。この平均水面変動量はすでに述べたとおり、ノズルへの流量に比例する量である。

それぞれの結果から明らかなのは、入射波高が 0.04m と 0.06m とで無次元量が同じにならない。すなわちこれは入射波に対して非線形な応答であることがわかる。OWC をもつ装置は厳密には圧力変動の非線形性に起因する非線形性がみられるが、このような極端な非線形性は通常は見られない。本研究では消波ケーソンを用いており、空気圧縮やノズルを空気が抜ける非線形性よりも、水がケーソンから溢れ出すことによる、水塊、水の流動形態の幾何学的非線形影響の方がはるかに大きく作用するからであると考えられる。また、ケーソンから渦を巻きながら水が溢れることそのものが波のエネルギーの系外への消失である。

図 4 と図 5 は空気室の体積を変更して水面変動量を比較した結果である。図 4 と図 5 ではノズル比が異なり、それぞれ 1/200 と 1/150 である。空気室体積による違いは、水面変動においてはほとんど見られない。図 6 と図 7 は規則波の入射角度による応答の違いを比較した結果である。10°と 0°（正面波）である。こちらも同様に、水面変動においては入射波角度の違いによる顕著な差は確認できない。これらの差についてさらに調べた。

ひとつの設定条件での計測は 3 回実施しており、実験結果の再現性を確認した。各波周波数で 3 回の計測結果に対する標準偏差の、その 3 回の平均値に対する割合は図 4 と 5 ではほとんどが 1.5% 以下で幾つかが 2.0% 以下であったが、図 5 の  $V=5.27 \times 10^{-3} \text{m}^3$  における  $A/L=3.1, 3.7, 5.5$  のみ 4.4% を超えた。それに対して、図 4 の波高 0.04m の 2 つの結果の差は、 $V=9.08 \times 10^{-3} \text{m}^3$  の結果に対して、 $3.7 < A/L < 4.5$  では 3.1~4.3% の差異であり、図 5 では 7.5~9.5% であった。図 6 と図 7 においては標準偏差の 3 回の計測値の平均値に対する割合は一部で 2.2% であったが、ほぼ 0.4~1.6% の範囲であり、入射角度による差異は 0 度入射の結果に対して大きいところで 4.0~6.0% を超えた。

これらの比較から、特に波高 0.04m のケースについては空気室体積や入射角度による平均水面変動の図 4~6 の図中の差異は単なる実験誤差ではない可能性が高い。

それぞれの結果からノズル比による違いをみると、ノズル比の小さい方がいずれの結果においても水面変動が小さい。このことは、ノズル比 1/200 における流量がノズル比 1/150 よりも少なくなることを意味する。

入射波高による違いをみると、どのケースにおいても入射波高が高い 0.06m の場合に水面変動は小さい。その理由として波高 0.06m の場合は入射波がケーソンの乾舷よりも高いため OWC 装置内に波が入り込むよりもケーソン上部に越波して越流したり、ケーソン上部から水が溢れる量が増加したりするためであると推察される。その場合、空気室に入る水量（実際には波）が減ってしまう。

上記の結果から  $A/L > 4.0$  の範囲で、一度水面変位が低下する傾向が見られる。後述する圧力や一次変換係数でもそれが顕著になる。プロジェクトンク・ウォール (PW) を二重ケーソンの一つ目のそれで再現したのが本コンセプトである。PW 付きの OWC 装置では全長が波長の 1/4 付近で一次変換性能が良くなるということがわかっている。これは PW と OWC 領域を含めた重複波による副振動的現象が起きているからであると考えられる。 $A/L > 4.0$  で低下しているというよりも、4.0~4.5 の付近で値が大きくなり、副振動の影響がなくなって以降は一度急激に水塊の振動が減少していると考えられる。

## 5.2 空気室内圧力変動

図 8 から図 11 に空気室内圧力の結果を示す。入射波振幅  $a$ 、流体密度  $\rho=1000 \text{kg/m}^3$ 、重力加速度  $g=9.8 \text{m/s}^2$  を用いて縦軸を無次元化した。



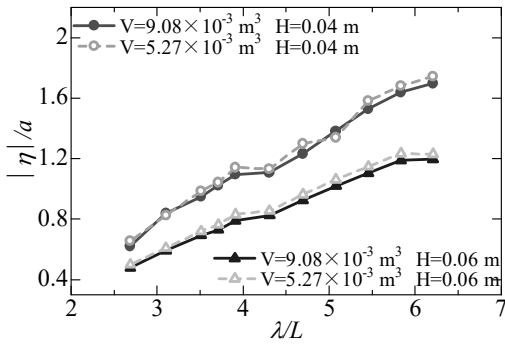


図4 空気室内平均水面変位 (ノズル比 1/200)

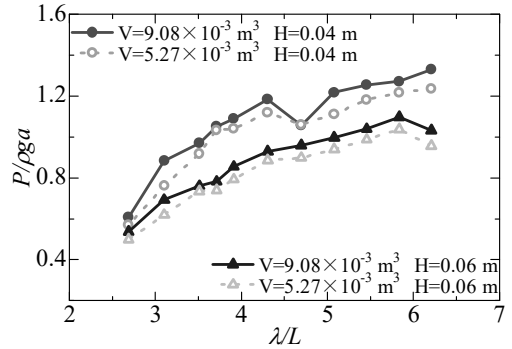


図8 空気室内圧力 (ノズル比 1/200)

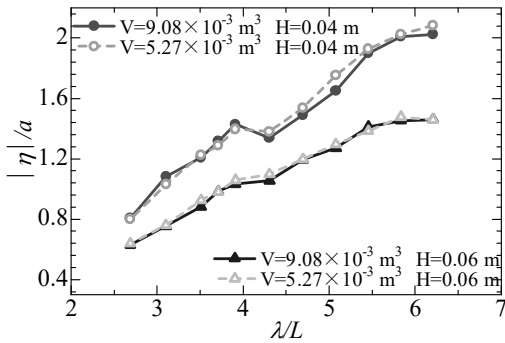


図5 空気室内平均水面変位 (ノズル比 1/150)

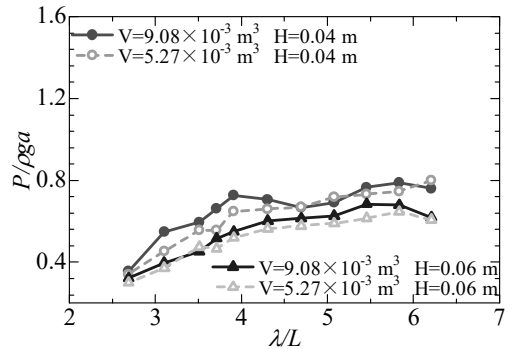


図9 空気室内圧力 (ノズル比 1/150)

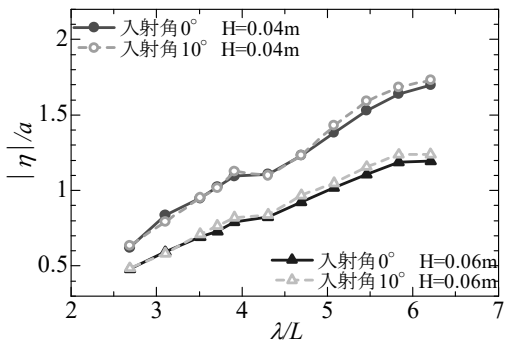


図6 空気室内平均水面変位 斜波(ノズル比 1/200)

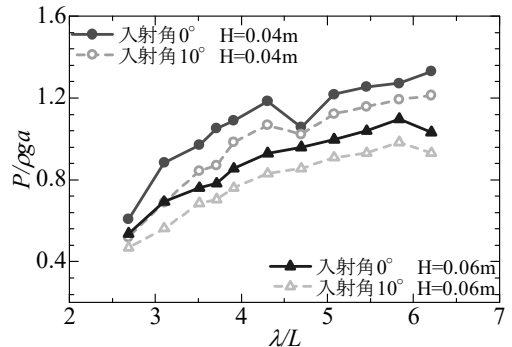


図10 空気室内圧力 斜波(ノズル比 1/200)

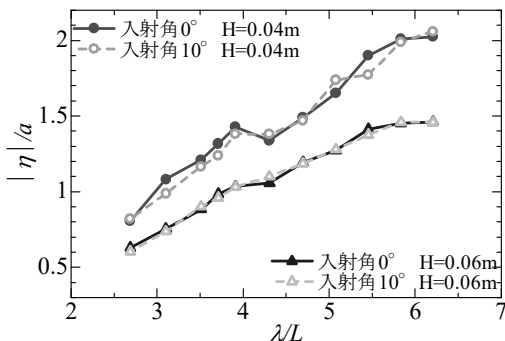


図7 空気室内平均水面変位 斜波(ノズル比 1/150)

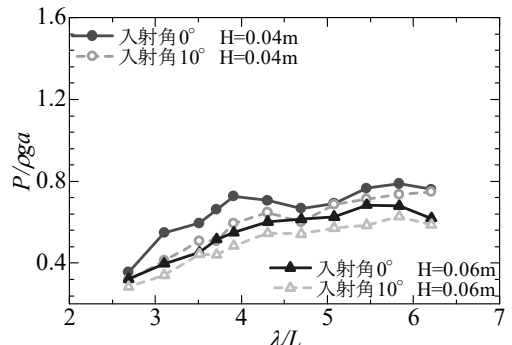


図11 空気室内圧力 斜波(ノズル比 1/150)

図8, 図9から空気室体積による違いをみると, 水面変動に比べて明らかな差異が見られる。どちらの波高, ノズル比においても空気室体積  $V=5.27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  よりも  $V=9.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  の方が圧力は大きいという結果となった。マッハ数を考慮すれば空気の圧縮性の影響はほとんど無視できるはずである。しかし, 模型スケールでこのような影響が出るため, 実機の場合, 圧縮の影響が顕著にみられる可能性がある。これには今後の調査がさらに必要である。

図10, 図11より, 入射角度による違いによる圧力特性を考察する。こちらも水面変動の結果と比べると, 入射波による差異が大きい。入射角度  $10^\circ$  の斜波であったため, 平均的な水面変動では差異はないが, 実際には水面変動あるは体積変動量に微小な差が生じていたことの裏付けでもある。これは体積変動と圧力変動は相互に影響するパラメータであるからである。さらに, ノズル比 1/200 の場合において, 入射角度による差異が大きい。これはノズル比 1/200 において圧力が大きいため, 体積変動特性の微小な差が顕著に圧力値に影響したためであると推察される。

ノズル比による違いをみると, 図8, 図10のノズル比が小さい 1/200 の圧力の方が図9, 図11の圧力よりも明らかに圧力が高くなっている。空気室からダクトやノズルに向かって流路が細くなることで空気室の水面に圧力が働き, それ自体が OWC に対する負荷となる。ノズル面積が小さくなる場合, 空気室内の空気圧が大きくなるので, これは妥当である。実際にはこの圧力上昇と流量のバランスによってより大きな一次変換を得ることになるため, 圧力が大きいだけでは, 波力発電装置としての性能の評価はできない。

### 5.3 ノズル前圧力変動

ノズルの直前で圧力特性はノズル内に作用する流量を決定する重要な量でもある。一般的に模

型実験で OWC タイプの波力発電装置を再現するためにオリフィスを使用するが, 本研究ではオリフィスの代わりにノズルを設置した。これは, 実機において同様にタービダクトが設置され, タービンによる流路面積の違いはタービン回転中には実際には生じないという前提からである。その流路が絞られた状態が空気室への負荷となる。ノズルの直前の空気圧力特性は, 実機におけるタービンを動かすパワーを決定するものであり, 重要なパラメータである。

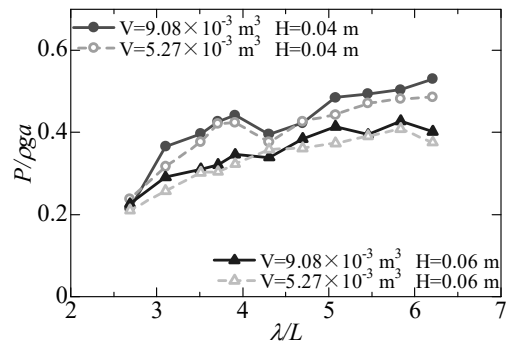


図12 ノズル前圧力 (ノズル比 1/200)

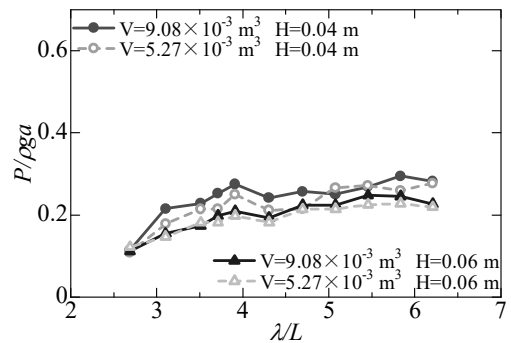


図13 ノズル前圧力 (ノズル比 1/150)

ノズルを通過する流量は, 摩擦等を考慮しないときの空気室内の流量と同じでなければならない。本研究では, ベルヌーイの定理にしたがって, 空気室の圧力と流速, そして流量の変化がない場合のノズル部流速を用いたノズル部圧力と, 計測されたノズル前の圧力がほとんど同じ値になることを確認した。このことから, 渦剥離などによる空

気パワーの損失と、空気室からノズルを出るまでの表面摩擦などによる流量変化をほとんど無視できることが確認された。

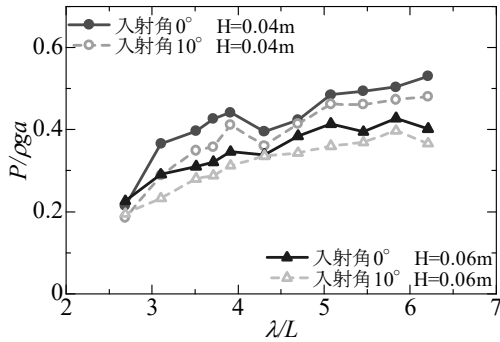


図 14 ノズル前圧力 斜波 (ノズル比 1/200)

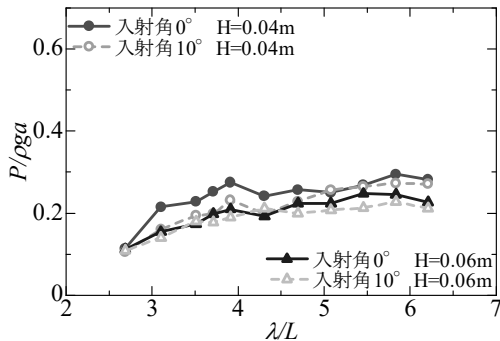


図 15 ノズル前圧力 斜波 (ノズル比 1/150)

それぞれの図において、最も波長 (周期) が短い  $\lambda/L=2.7$  での圧力は波高や空気室体積、あるいは入射角の違いに依らない結果となっている。波長が短いため、ケーソンから溢れ出る水量は長波長域の波よりも少なかった。また、前々節での結果のとおり各パラメータによる差異はあるものの空気室内の水面変動は大きくない。また、前節の空気室内圧力も本節と同様に  $\lambda/L=2.7$  での圧力の差は小さい。空気室圧力とノズル前圧力は直接連動するため、それぞれの結果に同様の結果が見られたことは、実験精度の信頼性を示すものである。波振幅を用いて無次元化しているため、この波長では圧力に各パラメータの影響が顕著に現れなかったと思われる。単波長域では急激に圧力が低下

することから、後述する一次変換にもその影響が顕著に現れる。一次変換性能の観点からは、空気が抜けやすい状況で流量を増加させるか、逆に抜けにくくして圧力を上昇させる必要があることを示唆する結果である。

#### 5.4 一次変換係数

図 16 から図 19 に一次変換係数の結果を示す。横軸は二重有孔ケーソンの長さや波長の比である。どの結果においても波高の違いにより一次変換係数も異なることから、非線形性が強いことが明らかである。このことは前述してきた空気室の水面変動や圧力にその影響が顕著にみられた結果に準ずる。根本的な原因として、ケーソン上部から水が溢れることや、ケーソン自体を越波することによると考えられることは既に述べた。

このような現象が非線形な現象として現れる。実機においても当然現れる状況である。実証実験や実用化という観点では、実際に獲得できるパワーと合わせて、性能という観点から一次変換係数や二次変換効率が議論される。今回の結果からケーソンを転用するコンセプトでは波高が高いときに獲得パワーは大きくなったとしても、変換効率という観点からは数値が低くなってしまふことになる。このことは十分に考慮されるべきことである。また、対策としては、ケーソン上部に新規に越流防止用の壁を設けることなどが考えられるが、費用対効果や本来の消波ケーソンとしての性能を損ねることにならないように考える必要がある。

さらに考察を進める。図 16, 図 17 から、空気室体積による違いと比較すると、特に波高が低いケースにおいて、空気室体積が大きい場合の方が一次変換係数は高くなる傾向が確認できる。波高 0.06m においてはどちらのノズル比においても空気室体積の影響はほとんど見られない。

図 18, 図 19 より、入射角度による一次変換係数の違いを比較する。どちらのノズル比の設定の



場合においても横軸の波長比  $\lambda/L$  が小さい範囲で一次変換係数は角度によって明らかな差が見られる。波高 0.04m においては入射角度による差異が大きく、最大で 20% の差である。これは、一次変換係数が入射波パワーと空気パワーの比によって算出されるので、空気室内圧力の上昇が小さかったことが原因として考えられる。すなわちこのことから、水面変動の微小な差異は圧力値に強く影響することがわかり、極めて圧力変動は空気室体積変動に対して敏感であり、結果として一次変換性能に強く影響することが理解できる。実際の設計や実機のモニタリングにおいても圧力変動の状況を確認することは発電性能の維持に重要であることが推察される結果である。

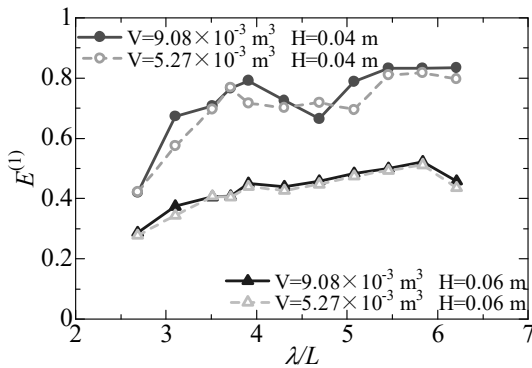


図 16 一次変換係数 (ノズル比 1/200)

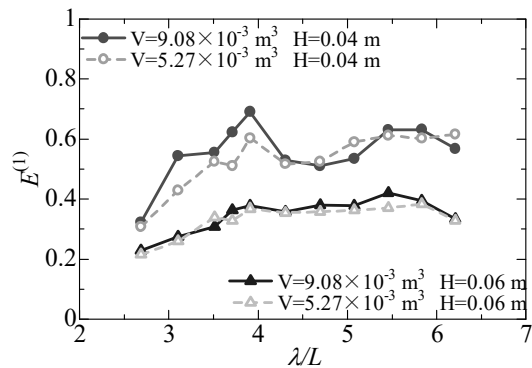


図 17 一次変換係数 (ノズル比 1/150)

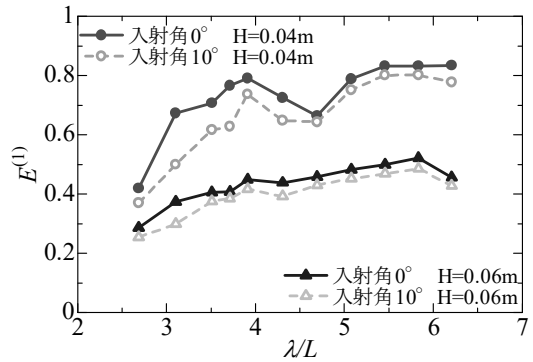


図 18 一次変換係数 斜波 (ノズル比 1/200)

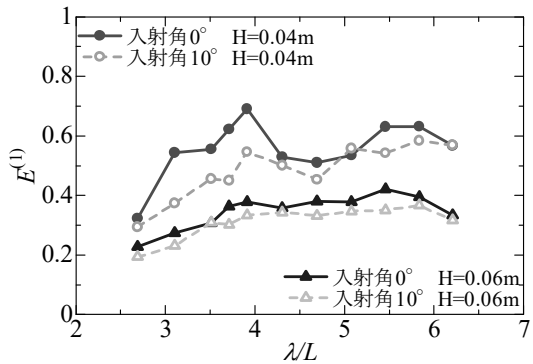


図 19 一次変換係数 斜波 (ノズル比 1/150)

波高 0.06m においては入射角度による影響は小さい。これはどちらの入射角度においてもケーソン上部から水が溢れる量が多く、空気室内に入る波パワーが小さくなったためであると考えられる。

### 5.5 水面変動に対する圧力の位相差

図 20 と図 21 に圧力の位相差をラジアン単位で示す。両者の違いはノズル比の違いである。圧力の位相差は空気室内平均水面変動に対する圧力の位相差である。すなわち、空気室体積変動に対するそれである。空気室体積は  $V=9.08 \times 10^{-3} \text{m}^3$  とし、入射波角度を  $0^\circ$  とした場合の結果である。波長比が小さな範囲で、波高 0.04m と 0.06m のどちらにおいても、空気室内圧力変動の位相差は  $\pi/2$

よりも若干小さく、ノズル前圧力変動はほぼ  $\pi/2$  に等しくなっていることがわかる。ノズル前の圧力は、細いノズルの入り口で計測されており、同じ流路断面における渦影響などによる空間的な位相差は考えられない。この値が  $\pi/2$  に等しいということは、先の考察で空気室からノズル部への圧縮の影響がほとんどないということも考慮すれば、空気室体積変動に対する圧力の位相は  $\pi/2$  である、という結論に至る。空気室内圧力が若干ことなる位相差になるのは、内部で発生している渦などの影響や、実際には圧力そのものに空間分布が発生するという理由から来るものであると推察される。

圧縮性の影響がない場合には、空気室の体積変動から得られるノズル部への変動圧力は、 $\pi/2$  の位相で発生しているとほぼ結論づけて良い。このことは理論計算において居駒ら<sup>3)</sup>が適用している、体積変動と圧力の位相差を  $\pi/2$  と一意に仮定していることが妥当である定量的裏付けともいえる。

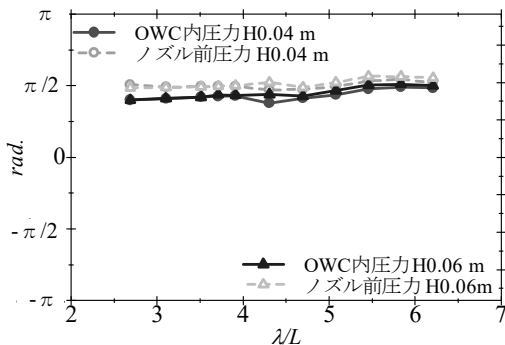


図 20 位相差 (ノズル比 1/200)

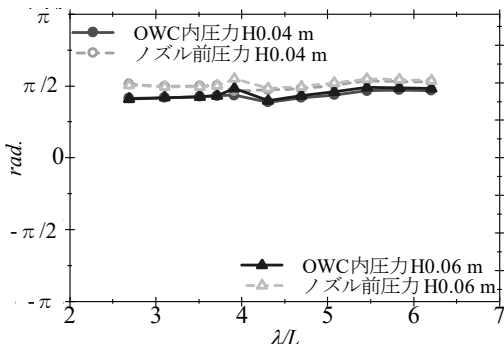


図 21 位相差 (ノズル比 1/150)

## 6. 結論

- 1) 本装置の一次変換性能は波高によって異なり、入力に対する変換係数での評価としては、波高が低い方がよい。その理由として波高が高くなるとケーソン上部などから越流することで、波パワーが大きく損失されてしまうためだといえる。そのため、前面のケーソンに壁を取り付け水が溢れる現象を軽減するなどの対策が考えられる。
- 2) 空気室圧力や一次変換係数には明らかな空気室体積の違いの影響が見られるが、空気の圧縮性の影響は種々の理由と検証から本実験スケールではほとんど無視できる。しかしながら、実際には体積の差が波パワー変換に対して影響することから、その詳細な理由を調査する課題が残った。実機スケールの場合、圧縮性の影響も場合によっては無視できないことが考えられるため、空気室体積の設定には注意が必要であることが強く示唆される結果を得た。
- 3) 本装置の斜波中での波パワー変換性能は入射角  $0^\circ$  と比較すると 20%ほど低下する。
- 4) OWC 内圧力変動とノズル前圧力変動の位相には若干の差がみられる。空気室内には圧力分布が存在することが考えられるが、実際にタービンドクト内のタービンに仕事をする圧力は、空気室の体積変動に対してほぼ  $\pi/2$  の位相で作用すると結論付けられる。ただし、圧縮性の影響がないという条件下であり、実機スケールにおいてはさらに精査する必要があると思われる。

本研究成果から、既存あるは新設においても、消波ケーソンの転用による OWC 型波力発電装置を設計する際の留意点が明確になった。性能自体はケーソンの大きさや有孔部形状や面積が影響す

と思われるが、本研究の結論は一般性があるものであると考える。

## 謝辞

本研究における水槽実験実施では西森拓哉君（深田サルベージ建設株式会社，研究当時卒研究生）のご協力を得たことを付記し，謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 高橋重雄，安達宗，中田博昭，小根田秀明，加藤久雄，鹿籠雅鈍：波力発電ケーソン防波堤の現地実証試験における観測データの解析結果，港湾技術研究所報告，Vol.31，No.2，pp.21-54，1992.
- 2) 大澤弘敬，鷺尾幸久，宮崎剛，堀田平，宮崎武晃：波浪エネルギー利用技術の研究開発－沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の開発－，海洋科学技術センター，2004.
- 3) 居駒知樹，増田光一，大森光，大澤弘敬，宮崎剛，木原一禎：OWC 型波エネルギー変換

装置のプロジェクトニングウォールが一次変換性能に与える効果に関する研究，土木学会論文集，B3（海洋開発），Vol.69，No.2，I\_120-I125，2013.

- 4) 居駒知樹，増田光一，木原一禎，惠藤浩明，大澤弘敬，宮崎剛，高島まどか：消波ケーソンを利用した PW-OWC 型波力発電装置の実現可能性に関する実験的検証，日本沿岸域学会研究討論会 2014 講演概要集，No.27，CD-ROM 8-6，2014.
- 5) 木原一禎，細川恭史，大澤弘敬，宮崎剛，下迫健一郎，増田光一，金谷泰邦，永田修一：ユニット型空気タービン式発電装置（PW-OWC）の開発，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.70，No.2，I\_97-I102，2014.
- 6) 木原一禎，細川恭史，大澤弘敬，下迫健一郎，増田光一，居駒知樹，永田修一，金谷泰邦：有孔ケーソンを利用した空気タービン式波力発電装置の開発，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.71，No.2，I\_103-I108，2015

## 著者紹介

### 居駒 知樹（正会員）



日本大学理工学部海洋建築工学科（千葉県船橋市習志野台 7-24-1），昭和 44 年生まれ，平成 4 年 3 月日本大学理工学部海洋建築工学科卒業，平成 9 年 3 月同大学院博士後期課程修了・学位取得，同年 4 月より東京大学生産技術研究所にて研究機関研究員，助手を経て，平成 13 年日本大学理工学部海洋建築工学科勤務。現在同大学教授，博士（工学），日本建築学会，日本船舶海洋工学会会員，日本海洋工学会運営委員（日本沿岸域学会）・理事。

E-mail: ikoma.tomoki@nihon-u.ac.jp

### 惠藤 浩明（正会員）



日本大学理工学部海洋建築工学科（千葉県船橋市習志野台 7-24-1）昭和 49 年生まれ，平成 9 年 3 月日本大学理工学部海洋建築工学科卒業，平成 14 年 3 月同大学院博士後期課程修了・学位取得，同年 4 月理化学研究所にて研究員として勤務，平成 19 年日本大学理工学部勤務，現在同大学准教授，博士（工学），日本建築学会，日本船舶海洋工学会会員。

E-mail: eto.hiroaki@nihon-u.ac.jp

増田 光一（正会員）



日本大学理工学部海洋建築工学科（千葉県船橋市習志野台 7-24-1）昭和 48 年日本大学理工学部建築学科卒業，昭和 53 年同大学院建築学専攻博士課程修了・工学博士取得，同年日本大学理工学部勤務，現在同大学特任教授，工学博士，日本建築学会，日本船舶海洋工学会，土木学会会員。

E-mail:msuda.koichi@nihon-u.ac.jp

木原 一禎（正会員）



エム・エムブリッジ株式会社（東京都中央区日本橋富沢町 9-19），昭和 63 年広島大学大学院工学研究科環境工学専攻博士前期課程修了，平成 28 年 3 月日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻博士後期課程修了・工学博士取得，エム・エムブリッジ株式会社勤務，日本沿岸域学会，土木学会会員

Email:kihara.kazuyoshi@mmbriidge.co.jp

渋谷 省吾（学生会員）

日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻（千葉県船橋市習志野台 7-24-1），平成 28 年日本大学理工学部海洋建築工学科卒業，同年日本大学大学院進学，日本大学大学院博士前期課程，日本建築学会，日本沿岸域学会会員。

E-mail:cssh16014@g.nihon-u.ac.jp

## The Performance as an OWC Type WEC Replaced From a Wave Dissipating Double-Caisson

Tomoki IKOMA, Hiroaki ETO, Koichi MASUDA  
Kazuyoshi KIHARA, Shogo SHIBUYA

**ABSTRACT** : Several types of oscillating water column (OWC) type wave energy converters (WECs) are researched and developed in the world. They are floating types and fixed types. In case of a fixed type, wave dissipating caissons could be replaced to WECs of an OWC type. On OWC types, installation of the projecting-walls (PWs) is useful in order to improve PTO performance. In this study, it was considered that a double dissipating caisson was used as an OWC type WEC with PWs. A front caisson of the double caisson seems the area surrounded by PWs and a back caisson can be seen as an OWC. The paper studied basic property of the primary conversion from wave power to power of air with model tests in a wave tank. As a result, wave height strongly effects on behaviors of OWC motion as well as air pressure. Finally, the primary conversion and PTO performance was affected by wave height. Besides, the concept of use of a double caisson was useful from PTO performance estimated.

**KEYWORDS** : *oscillating water column, wave energy convertor, wave dissipating double caisson*