

波力装置マイティーホエールの環境へ与える影響に関する実験

The Results of the Model Experiment on the Influence of Environment by Mighty Whale Weve Energy Converter

宮崎武晃*・加藤直三**

Takeaki, Miyazaki, Naomi, Katou

The Mightyt Whale wave energy converter is a floating device to extract the energy from sea waves and convert it a nesessary form of energy. If wave energy could be completely absorbed by energy converter device, waves surrounding the device would disappear completely, resulting in a calm sea. Accordingly, it is possible to combine the use of wave energy and utilization of offshore area, the value of wave energy converter would be greatly increased. This paper deals with the influence of environment by Mighty Whale, particularly waves and wave induced nearshore current around a model of Mighty Whale on inclined bottom comparing with those around a model of detached breakwater.

Keywords : Wave energy, Wave energy Converter, Environmental control.

1. はじめに

沖合浮体式波力装置マイティーホエールは波エネルギーを効率よく吸収し、利用形態にあわせて電力や圧縮空気に変換することができ、また、装置の背後の海面は静穏化するため、沿岸海域の多方面の利用が考えられる。今後の沿岸海域の利用は、水産増養殖からレジャーまでの多目的利用に加えて水質、生態系、景観など環境面を配慮した海洋構造物を構築することが必要である。海の利用は、海の摂理を程良く取り入れた方法により、役立つ海、豊かな海を残すことが可能である。

以上のことから、静穏海域を創出するには、障害となるこの波エネルギーを極力利用して自然環境、海的能力を守りながら、必要な静穏海域を得ることが必要となる。マイティーホエールの特徴は浮体式であるため、海流などの流れを阻止することなく、またできるだけ沖合に設置することにより、装置背後に広大な静穏海域を得ることができ、海面をより有効に活用することができる。

本研究は、沿岸海域の多目的利用と環境の両面から適しているマイティーホエールに着目して、構造物が海域に及ぼす物理的・化学的・生物的環境影響に関する評価の手法の確立を目標にして、最初の段階として浮体式の波力装置マイティーホエールまわりの波と流れの物理的環境影響特性を固定式消波構造物である離岸堤と水槽実験により比較検討しながら考察する。

本論ではまず、マイティーホエール装置の波エネルギー吸収特性及び波による海水交換の観点から、二次元波動水槽および、三次元波動水槽において、傾斜勾配のある水底を設け、マイティーホエール装置と離岸堤の模型まわりの波と流れの計測を行い、その結果を示す。

2. 波力装置マイティーホエール

2. 1 基本構造

マイティーホエールの構造は図1に示すように波を受ける側に複数の空気室がある。この空気室の前面は、荒天時の大波高中の波浪衝撃圧を低減するために丸みをつけた。その後方は、装置全体を浮かすための浮力室から構成され、波エネルギーは空気室内の水柱を振動させ、この水柱が言えばエンジンのピストンに相当する運動をし、空気室上部の空気を高速の流れの空気エネルギーに変換する。このエネルギーを使い空気タービンを回転させ、直結された発電、

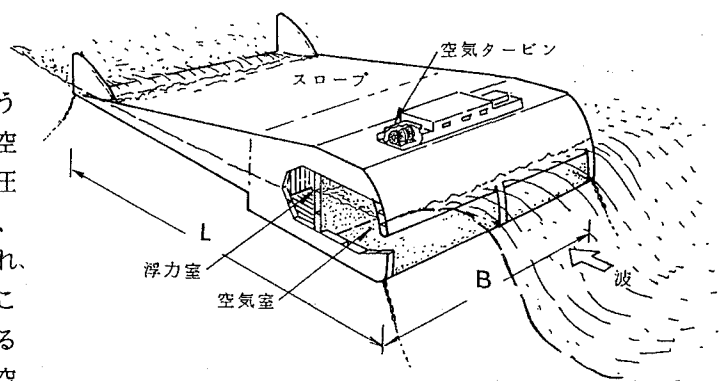


図1 マイティーホエールの基本構造

*正会員 海洋科学技術センター 海域開発研究部 (〒237 神奈川県横須賀市夏島町2-15)

** 東海大学海洋学部, 海洋科学技術センター客員研究員

コンプレッサーや発熱機により、電力、圧縮空気や熱を得ることができる。現状では、使用する空気タービンとしては、往復流中でも一方向に回転する、すなわち整流と原動機機能を同時に持つ特殊なタービンであるウェルズタービンを考える。このウェルズタービンについては、すでに「海明」の海域実験等、多くの実績がある。浮力室の後方は1/5の傾斜のスロープが水中まで伸びる構造をとり、装置全体の断面形状は翼形にした。これは、これまでの浮消波堤等の研究の経験から、翼形断面の構造物で越波を起こす時には“波くずれ”現象により装置を波の襲来方向に前進させる特性があることに目を付け、これにより係留力の低減を図ることおよび、陸側から見た時の景観を配慮したことによる。また、後端には飛行機の垂直尾翼の様なフィンを付けた。これは大波時に後部が沈下する時の復元力として働く浮力体である。

2. 2 基本特性

図2に示すマイティーホール模型による波エネルギー吸収特性を図3に示す。ここでは、模型の運動を束縛した緊張係留実験と運動を許した弛緩係留実験を示す。緊張係留実験は弛緩係留実験に比べ波エネルギー吸収は高く、特に波長が長い領域でその特性を顕著に示している。図4に、同じ条件における消波特性を示す。これも波エネルギー吸収特性と同様に緊張係留実験の消波効率が低いことを示している。

マイティーホールの浮体式装置としての特長を以下に示す。

- i) 固定式消波構造物との比較では透過波高に関する評価は低い、波波長／堤幅が5程度までの波に対して波透過率を0.5以下に抑えることが可能であること。
- ii) 船舶の航行の安全性から重要な装置前面での反射波による波高の増加を低く抑えることができる。
- iii) 海水交換量が多いこと。
- iv) 構造物は係留されるため大水深設置に適すること。
- v) 施設の移動が可能である。
- vi) 現地の設置が容易で短期間でできること。
- vii) 大水深になるほど経済的である。
- viii) 波エネルギー利用によってエアレーションや低層水押し出しといった海水浄化や利用が計られる。ことなどである。

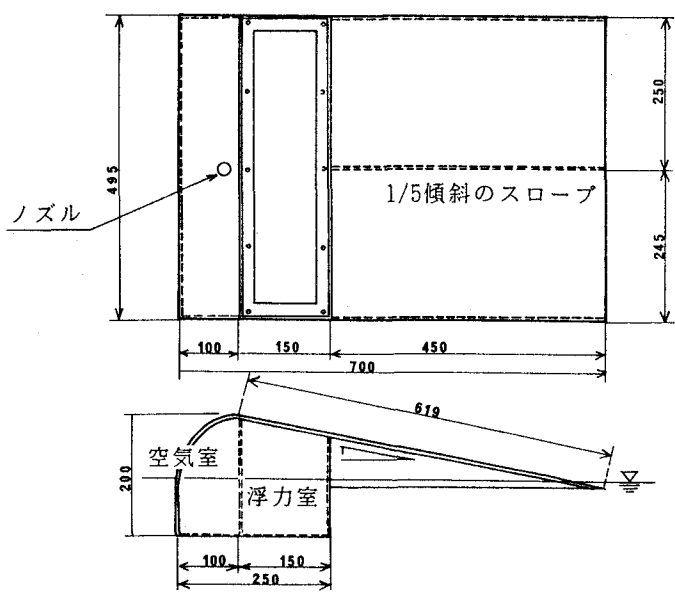


図2 マイティーホール基本模型

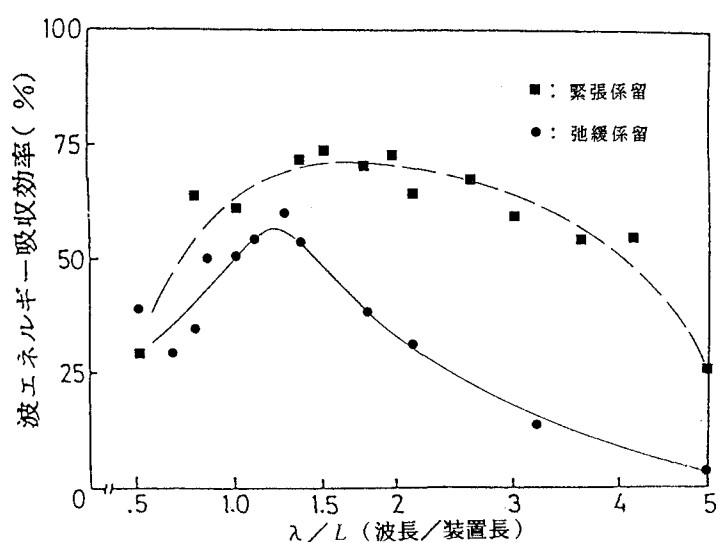


図3 波エネルギー吸収特性比較

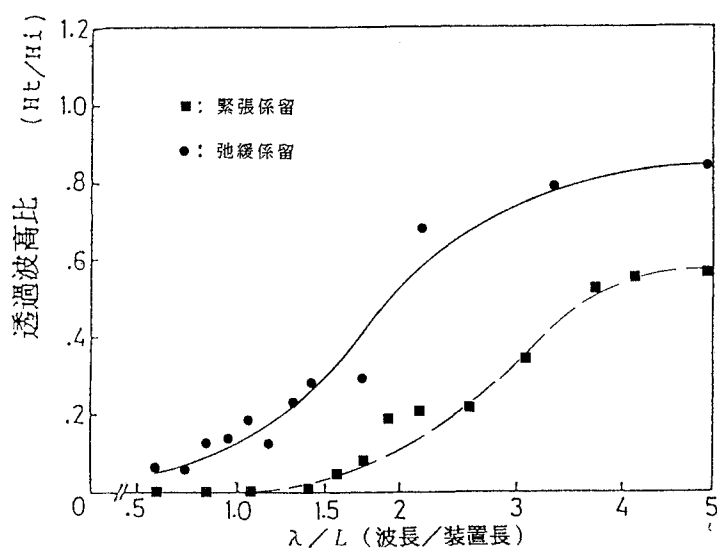


図4 消波特性比較

3. 水槽実験

これまで、各種消波装置の特性について多くの研究がなされているが、浮消波堤、特に浮体式波力利用装置が傾斜勾配のある沿岸海域に設置されたときの構造物が海域に及ぼす影響については検討例が少ない。海洋環境問題の中で重要な役割を持つ沿岸海域の静穏化と海水交換の観点から、二次元波動水槽及び三次元波動水槽において、水底の傾斜勾配を変化させ、構造物模型まわりの波と流れの分布計測を行い、特性の考察を行った。

3. 1 二次元波動水槽実験

図5に示すように二次元波動水槽内（長さ×幅×深さ＝20m×0.5m×0.5m）勾配1/20の仮底を設置し、水深0.2mの位置にマイティーホエールを設置して波高測定を行った。実験の想定縮尺は1/200とし、構造物の設置点の想定水深を40mとした。流れについては、模型設置周辺の定常流速（変動流速の平均値のドリフト量）を計測した。

模型は図2で示したもので、前方に一個の空気室、その後に浮力室、その後方は1/5傾斜のスロープが延びている。空気室上部はノズルがつき、これは実機装置のタービン発電機等の負荷に相当する。このノズル比（ノズル面積／空気室面積）は1/117としており、ほぼ最適値に近い値となっている。係留は前後揺れを許した緊張係留方式をとった。この時の喫水は90mmにした。

沖波（規則波）の波高測定は図5のAの位置に容量式波高計を設置して行い、また模型まわりでは模型中央から沖側1mおよび岸側1.5mの範囲で、100mmの間隔で伝達波の測定を行った。沖波の周期は0.61, 0.67, 0.75sec、波高は20mmから41mmの範囲とした。流速測定には、2成分電磁流速計（センサー部：7mmφ×25mm）を用いた。

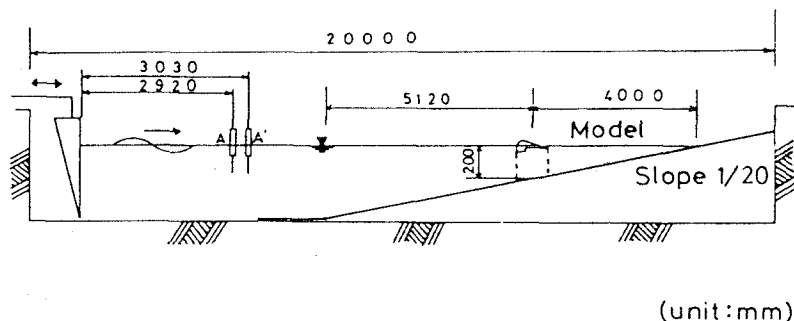


図5 二次元波動水槽実験状況

3. 2 三次元波動水槽実験

図6に示すように三次元波動水槽内（長さ×幅×水深＝40m×4m×2m）に水底勾配1/20の仮底を設置し、模型の幅が水槽幅の半分の2mである模型を水深0.4mの位置に側壁に寄せて設置した。実験の想定縮尺は1/100（二次元波浪水槽実験の2倍）とし、構造物の設置点の想定水深は40mとした。

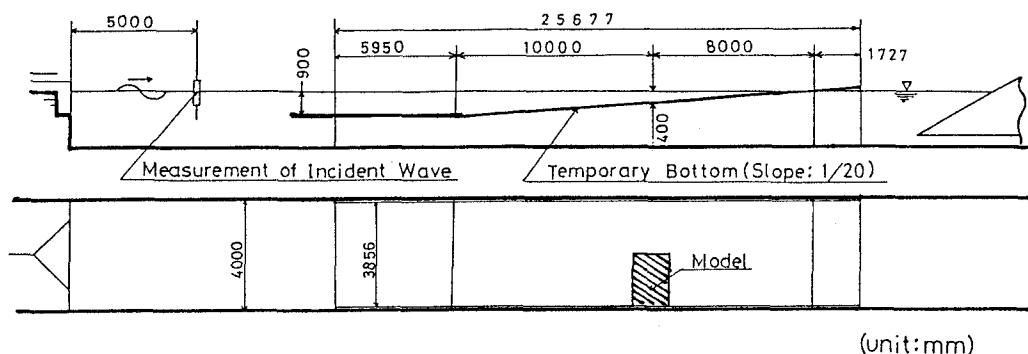


図6 三次元波動水槽実験状況

図7にマイティーホエール模型（長さ×幅＝1400×1970mm）と離岸堤模型（幅×高さ×厚み＝2000×600×80mm）の形状を示す。マイティーホエール模型は緊張係留した。

沖波の周期は0.94sec、波高は40mmとして測定を行った。これは、二次元波動水槽実験では、周期0.66sec、波高20mmに相当する。測定項目は波高分布、流速平面分布、模型後方断面の流速鉛直分布、水面の流れのパターンの4種類である。波高測定は、縦方向に堤体中心から沖側3mおよび岸側6mの範囲で0.2m間隔で、また横方向は

Figure 1 consists of three diagrams. The top left is a plan view of a rectangular structure with a width of 1400 mm and a length of 1970 mm. It shows internal divisions with dimensions 50, 200, and 300. The top right is a front view of a rectangular structure with a width of 2000 mm and a height of 600 mm. The bottom left is a cross-section of the structure, showing a trapezoidal shape with a top width of 1400 mm and a bottom width of 1400 mm. The height is 1970 mm. The cross-section also shows a trapezoidal shape with a top width of 1400 mm and a bottom width of 1400 mm. The height is 1970 mm.

図7 マイティーホエール大型模型と離岸堤模型

4. 実験結果

4. 1波高伝達率について

図8(a)に、水底勾配1/20の場合の模型まわりの波高比分布を示す。図8(a)は沖波波高一定で周期を変化させた場合、図8(b)は沖波周期一定で波高を変化させた場合を示す。実験範囲内において、模型後方の透過波高比は沖波周期が長くなるほど大きくなるが、波高の影響は見られないことがわかった。

図9にマイティーホール模型まわりの波高伝達率の等高線図と離岸堤模型まわりの波高伝達率の等高線図を示す。これらの結果から次のことが言える。

○マイティーホエールを用いた二次元波動水槽実験では、透過波高比が0.1 から0.2 であったが、三次元では回折波の影響で、その比が達成される領域は模型の中央付近に限られる。

○マイティーホエール前面の反射波は離岸堤よりかなり小さい。これは、波動エネルギー吸収によるものと考えられる。

○実験で用いた沖波周期では、構造物後方の波高伝達率 0.5以下の領域の広さは両者とも同じ程度である。

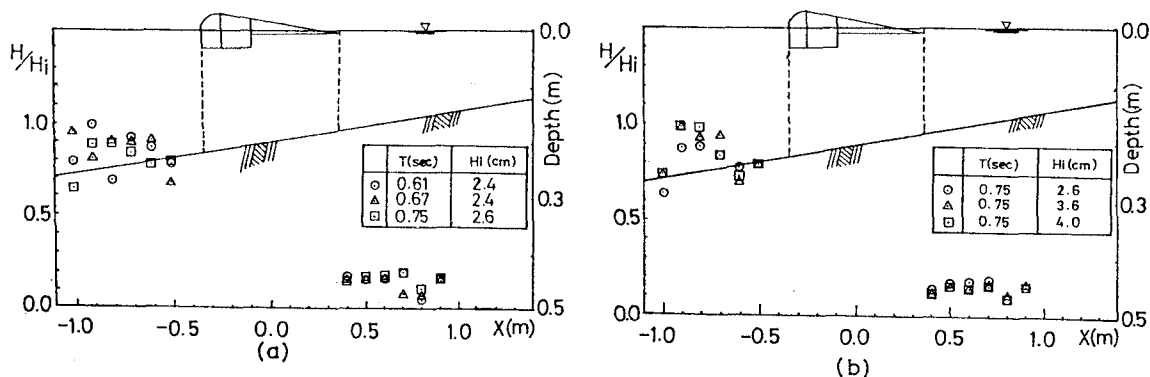


図8 マイティーホエールまわりの波高比分布

4. 2 流速分布および海水交換について

図10にマイティーホエール模型後方と離岸堤模型後方の水深の $\frac{1}{2}$ の場所で電磁流速計で測定した流速平面分布を示す。沖波の周期は 0.94sec、波高は40mmとして測定を行った。ただし、流速は $a \cdot \sigma$ (a は波の振幅、 σ は角振幅数)で無次元化してある。 図11にマイティーホエール模型後方と離岸堤模型後方の可視化による水面の流況分布を示す。これらの図では、0.1sec間隔で1分間の記録を示したもので終点を丸印で表す。

水面上の流れの可視化から水面上に循環流が発生していることがわかる。一方、水深の1/2の面での流場では離岸流が支配的であり、循環流は明確には現れていない。離岸堤の場合は水面上の循環流は堤の内側に回り込む流れが支配的であるが、マイティーホエールの場合は装置の外側に回る循環流が支配的である。特にマイティーホエールの場合、装置直後に強い向岸流が見られる。これは、模型直後の鉛直面内では水底近傍から水面までは広い領域にわたって向岸流がみられる。水面では $Y=1.0$ m近傍を境として一対の循環流が形成されている。測定鉛

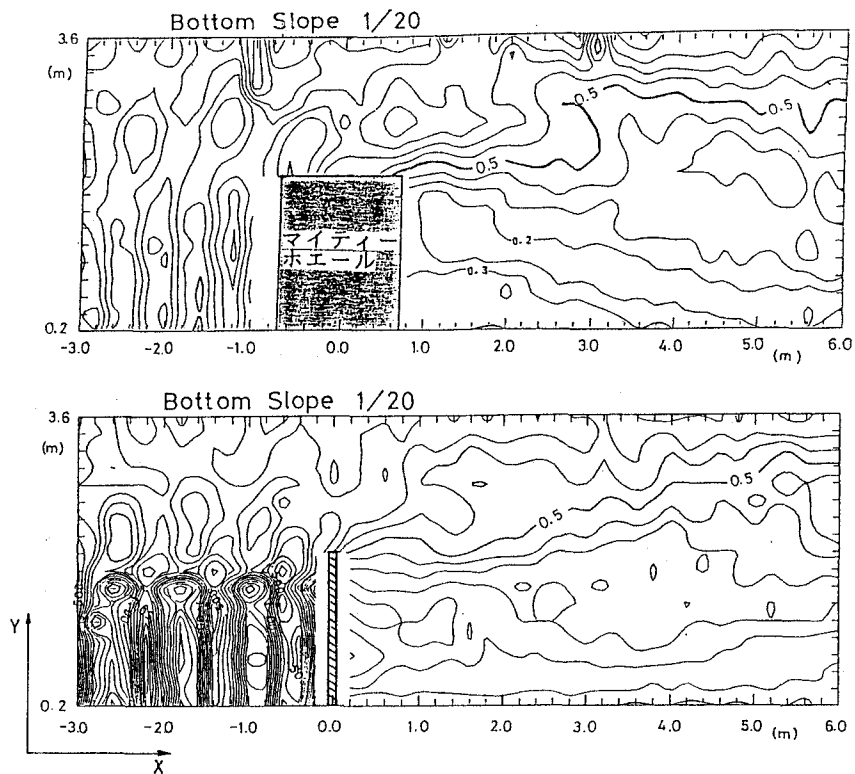


図9 マイティーホエルと離岸堤まわりの波高伝達率

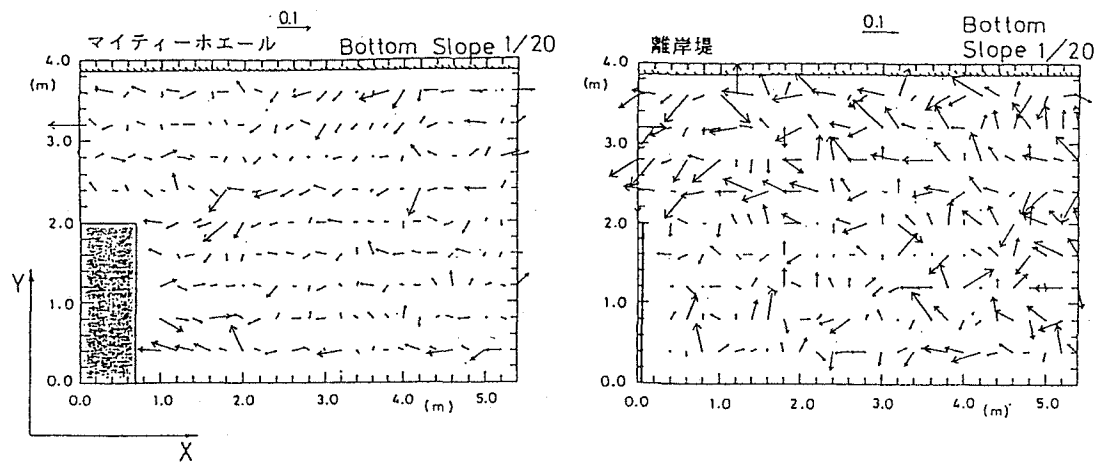


図10 両模型後方の 1/2水深における流速分布

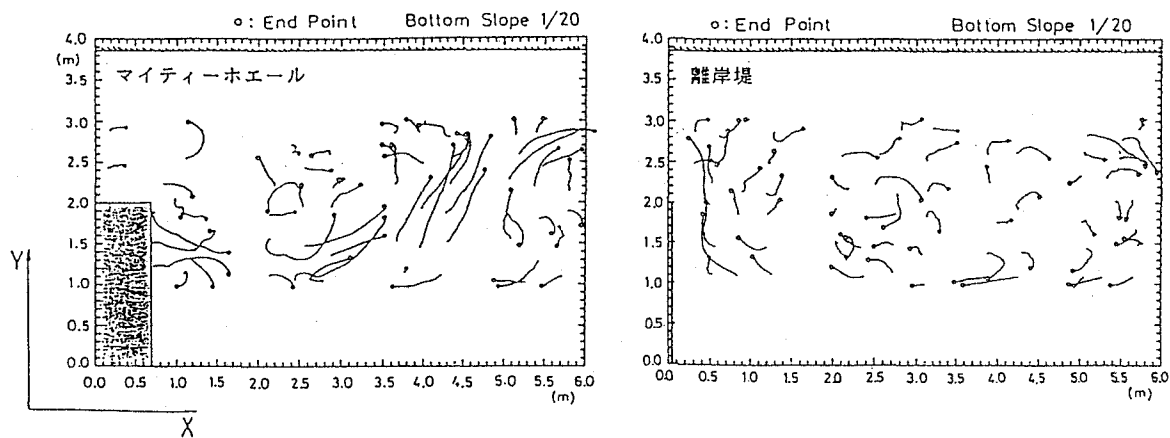


図11 両模型後方の水面における流況分布

直断面より汀線側の水深の $\frac{1}{2}$ の面では離岸流となっていることから、模型後方で見られた向岸流は汀線に近づくにつれ、水面に上昇するものと思われる。

海水交換量については、マイティーホエール装置のほうが海水交換量が多いことがわかる。特筆すべきことは、マイティーホエール装置直後の鉛直断面ではほぼ構造物の幅にわたって水面から水底近傍までの向岸流の領域があることである。

5. 結 論

以上、波力装置マイティーホエールによる沿岸海域の静穏化と海水交換の観点から、離岸堤における波と流れの特性に関する比較実験を行い、考察した。結果を要約すれば、次のようである。

- (1)マイティーホエールは、沿岸海域における波浪制御、水質や流動の制御を可能にし、またエアレーションなどへのエネルギーの供給が期待できる。
- (2)傾斜海浜上におけるマイティーホエール後方の波高伝達率 0.5以下の静穏領域は、実験で用いた沖波周期では、離岸堤と同程度である。
- (3)マイティーホエールの前方では反射波が小さい。
- (4)離岸堤では水面上の循環流は堤の内側に回り込む流れが支配的であるが、マイティーホエールの場合は装置の外側に回る循環流が支配的である。特に、マイティーホエールの場合、装置直後に強い向岸流が見られる。
- (5)実験で用いた沖波周期では、マイティーホエールのほうが離岸堤より海水交換量が多い。

6. おわりに

マイティーホエールは、これまで波が荒く効率的な利用が不可能であった沿岸海域を安全かつ効果的に利用することが可能となり、またエネルギーの供給が困難であった海洋に、電力や圧縮空気形でエネルギーの供給を可能にし、沿岸海域の振興に大きく寄与することができる。また、波、流れの実験からマイティーホエールは反射波が少なく、海水交換量も多く増養殖漁業用の消波装置のみならず水質や流動の制御装置としての利用も期待される。図12に開放性海岸の沖合に係留したマイティーホエールの設置構想図を示す。波力装置の前方の海底には貯気槽を配し、波力装置により作られた圧縮空気は貯気槽に送気されるが、この時貯気槽内の深層水は押し出され浅海部、または陸上まで導かれ利用される。圧縮空気は送気管に入り、陸上の浄化施設や海洋のエアレーション装置などの必要な施設に導かれ利用される。

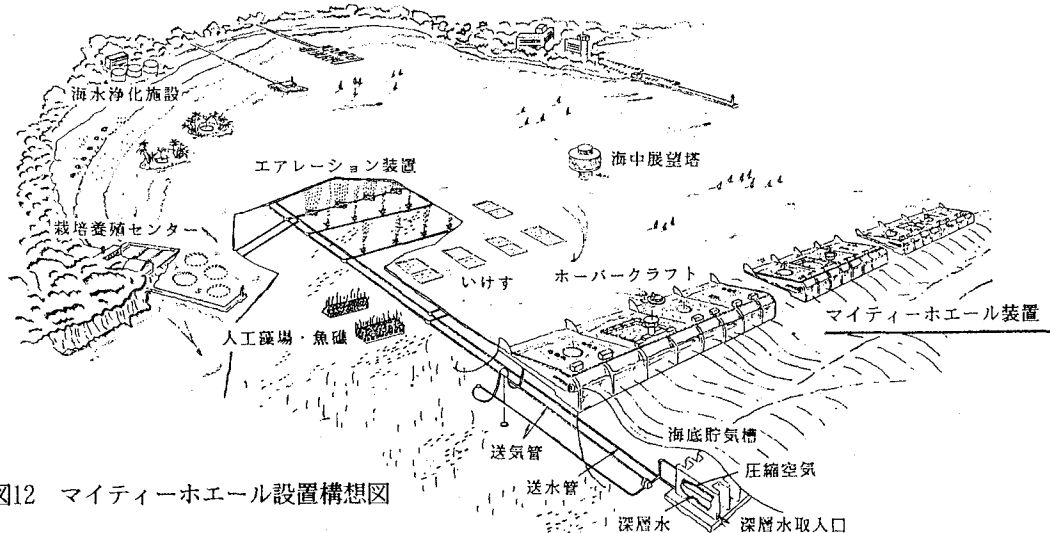


図12 マイティーホエール設置構想図

参考資料

- 1) T. Miyazaki, H. Hotta, Y. Whashio : Design and Performance of the Mighty Whale Wave Energy Converter, World Renewable Energy Congress, Reading, U.K. (1990)
- 2) 宮崎武晃、鷲尾幸久、堀田 平：沖合浮体式波力利用装置（マイティーホエール）の水理特性に関する研究、第3回波浪エネルギー利用シンポジウム、海洋科学技術センター（1991）
- 3) 加藤直三、宮崎武晃：沿岸域に設置された沖合浮体式波力利用装置と離岸堤まわりの波と流れに関する比較模型実験、日本造船学会論文集、第169号（1991）
- 4) 宮崎武晃、堀田 平、鷲尾幸久、石井進一：沖合浮体式波力利用装置（マイティーホエール）の経済性検討、第3回波浪エネルギー利用シンポジウム、海洋科学技術センター（1991）