

## 振動水柱型波力発電装置の並列配置効果の研究

堀田 平\*1 宮崎武晃\*1 鷺尾幸久\*1  
林 秀明\*2

波力発電装置により多くの波エネルギーを吸収しようとするなら、装置の最適規模が限定されているため、複数の装置を設置する必要がある。一方、複数のエネルギー吸収装置を適切に並列配置することによって一基あたりのエネルギー吸収効率が増加することは、アンテナ工学などで良く知られている。

そこで本研究では、底板なし、底板付きおよびハーバー付き固定空気室について、複数の装置を波峰方向に種々の間隔で並列に配置した時の規則波中における波エネルギー吸収効率特性に与える効果を基本モデルを用いた水槽実験によって調べた。

その結果、波エネルギー吸収効率は、ハーバーを取り付けることにより向上し、さらに複数のこの空気室を空気室幅程度離して並列配置することにより三次元効果が現われ、マルチレゾナンス型波エネルギー吸収装置として、全周波数領域に亘って吸収効率が向上し、効果的であることが明らかになった。

### A Study on Effects of Parallel Arrangement of OWC Wave Power Devices

Hitoshi Hotta\*3 Takeaki Miyazaki\*3 Yukihiisa Washio\*3  
Hideaki Hayashi\*4

For maximum power from waves, a number of devices are needed because the optimum scale of each device is fixed. It is already known from such fields as antenna engineering that the efficiency of energy absorption can be increased by establishing the optimum parallel arrangement of the energy absorption devices.

In this study, the authors examined the wave power absorption of a fixed air chamber without bottom plate, with bottom plate and with "harbour," by means of model tests in a wave tank, and investigated how the parallel arrangement of the devices in regular waves affected the characteristics of wave energy absorption.

It was found that the wave energy absorption efficiency is increased by the use of a "harbour," and that the devices become "multi-resonance-type

---

\*1 海洋開発研究部

\*2 トーヨーコ(株)

\*3 Marine Research and Technology Department

\*4 Toyoko Co., Ltd.

wave power devices” through the three-dimensional effect obtained when the air chambers with harbour are settled at intervals approximately the same width as the air chambers.

### 1. はじめに

近年、沿岸域とりわけ離島および港湾地域におけるエネルギー供給の手段の一つとして、クリーンな自然エネルギーである波のエネルギーを利用するシステムの開発が盛んになり、各所に実用規模の装置が計画・建造されている。なかでも、海岸の自然地形を利用して設置できる「沿岸固定式波力発電装置」もしくは消波効果まで期待できる空気防波堤ケーソン式のような空気タービン式振動水柱型波力発電装置は、メカニズムが簡単であるため、建造コストが比較的安価であるうえに維持・管理が容易であることから、コンパクトな電力供給源として実用化へ最短距離にあると考えられており、数多くの研究・開発が推進されている。

しかしながら、この形式の装置は、空気タービン性能、波峰長さ、堤体構造強度および発電コストなどの問題から、一基当りの規模に限界がありしたがって需要に応じて複数の装置を備えなければならない。一方、電波工学におけるアンテナ理論のように、波動中に複数の装置を適切な間隔で並べることにより装置間の相互影響が生じ、波動エネルギー吸収効率が向上するとされている。このメカニズムが波浪エネルギー吸収へも適用されるのであれば、より少ない装置で多くの波エネルギーを吸収することが可能となり、利用コストが低減することになる。

これに対し、これまで、沿岸もしくは海洋中に孤立した装置および堤体に組み込まれた装置に関しては、いずれも単独の装置についての研究は数多く行われているものの、複数の装置を設置したときの現象および効果について研究された例は殆んどない。そこで、著者らは、複数の振動水柱型波力発電装置を波峰方向に並列に配置したときの基本現象を明らかにするため、基本モデルを用いた水槽実験および理論計算を行い、解析を行った。

本報では、これらの概要を紹介し、それから考察される諸現象と効果について報告する。

### 2. 固定式振動水柱型波力発電装置

「海明」のような浮体式振動水柱型波力発電装置に対し、海岸岩礁の自然地形を利用して設置された沿岸固定式波力発電装置を固定式振動水柱型波力発電装置と称する。また、この型式の装置には、この他に、防波堤や護岸に組み込まれた方式の装置の設置が現在検討されている。

#### 2.1 沿岸固定式波力発電装置

昭和58年9月に、山形県鶴岡市三瀬の海岸岩礁に、沿岸固定式波力発電装置は設置され、翌年3月末まで発電試験および各種の計測が行われた<sup>1)~6)</sup>。この装置の断面を図1に、設備状況を図2に示す。本方式の装置は、波エネルギーから空気エネルギーへの一次変換工程を行う空気室としての堤体ケーソンおよび空気エネルギーから電気エネルギーへの二次変換工程を行う空気タービン・発電機とからなっている。

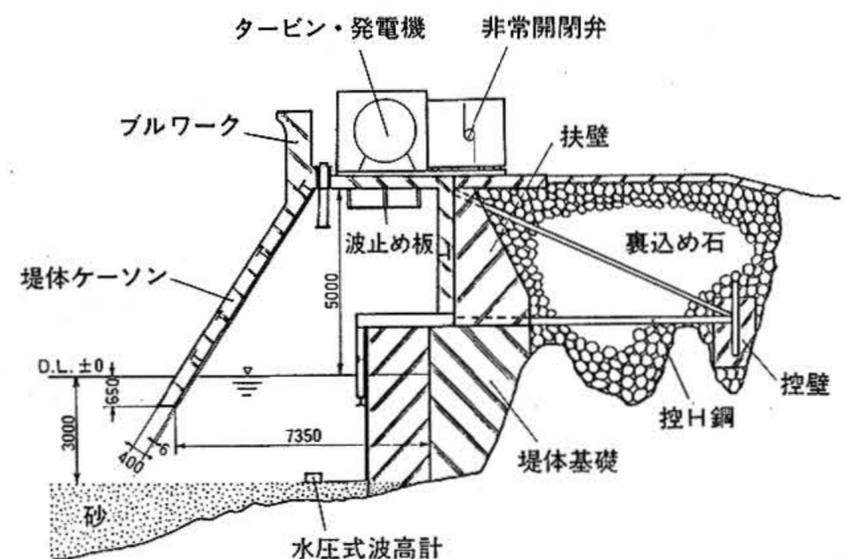


図1 沿岸固定式波力発電装置の断面概略図  
A sectional plan of the shore fixed type Wave power generator

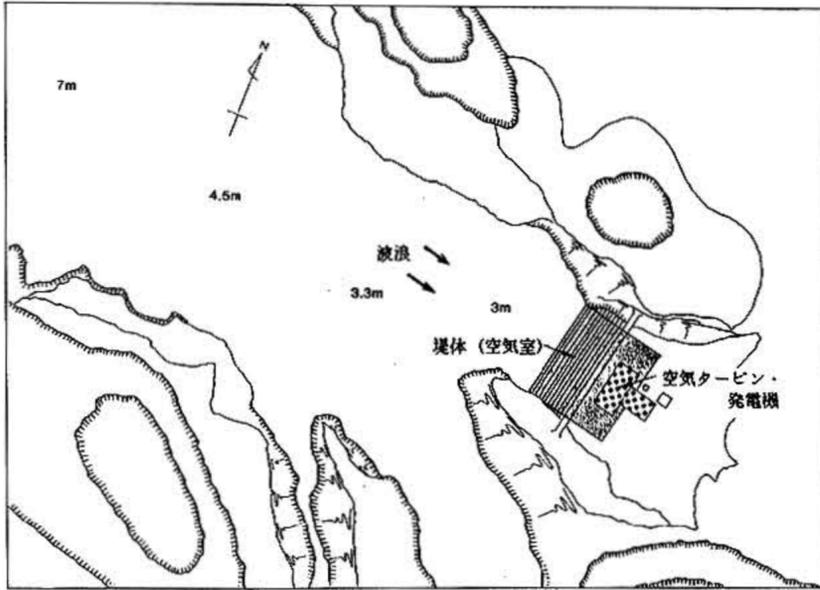


図2 沿岸固定式波力発電装置の設置状況  
Installed condition of the shore fixed type wave power generator

堤体ケーソンの主要寸法は、幅約8.1m、奥行約7m、カーテンウォール深さ約0.65m、空気室水線面積約50m<sup>2</sup>である。一方、空気タービンには、直径約1.3m、NACA 0021、チップソリディティ約0.63のタンデムウェルズタービンを、発電機には定格出力40kw、定格回転数1792rpmの同期発電機を使用した。<sup>7)</sup>

この装置の発電試験が行われた10月から3月までの間の沖合における1/3有義波高の平均値は約1.8m、同周期の平均値は約6.9秒であり、これに対し、この期間中における平均発電出力は、11.3kwを達成した。装置への入射波の多くは砕波であることを考慮すると、本装置の発電効率はこの結果より20~30%と推定され、これによって本方式の波力発電装置の実用化へ大きな一歩を標すことになった。

## 2.2 波力発電ケーソン防波堤<sup>8)</sup>

波力発電ケーソン防波堤は、防波堤としての機能を併せ持つ波エネルギー変換装置であり、主に運輸省港湾技術研究所において研究されている<sup>8)~11)</sup>。波力発電ケーソン防波堤は、図3に示すように、空気室と呼ばれる中空の箱状の部分からなる。また、空気室の前壁はカーテンウォールとなっており、波が空気室に侵入できるように開口部を有する。

波力発電ケーソンは防波堤や護岸に用いられ、防波の機能と同時に発電の機能を持つことから、一つの機能当りのコストが低減できるとされてい

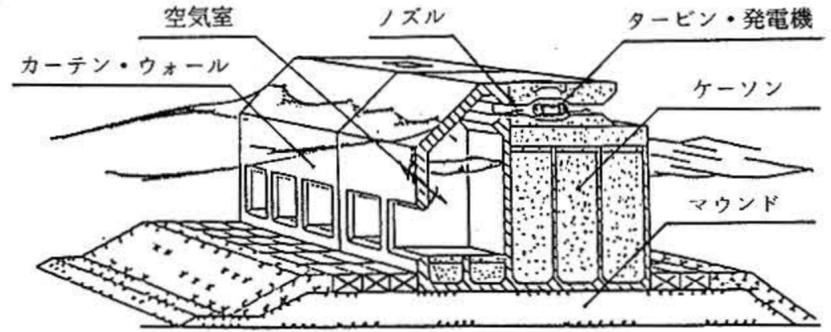


図3 波力発電ケーソン防波堤  
Caisson breakwater With wave power extraction

る。また、波力発電ケーソンは波のエネルギーを吸収するために、通常のケーソンよりも作用する波力は小さく、反射する波も越波量も小さいという、防波堤のケーソンとしても有利な構造と考えられている。

## 2.3 ハーバー付き空気室

振動水柱型波力発電装置の一次変換装置である空気室は、図4に示すように、底の無い箱が適宜な深さに没水したものである。「海明」型のように、底板の無い形式は振動水柱運動が対称運動型と呼ばれる装置となり、二次元理論上の最大の効率は50%である。

一方、図5に示すように、これに底板を取り付けると非対称運動型と呼ばれる装置となり、この場合の二次元最大効率は100%に達する。ただし、このような底板付き空気室も最大効率を呈するのは、水柱の共振点1点のみである。そこで、この

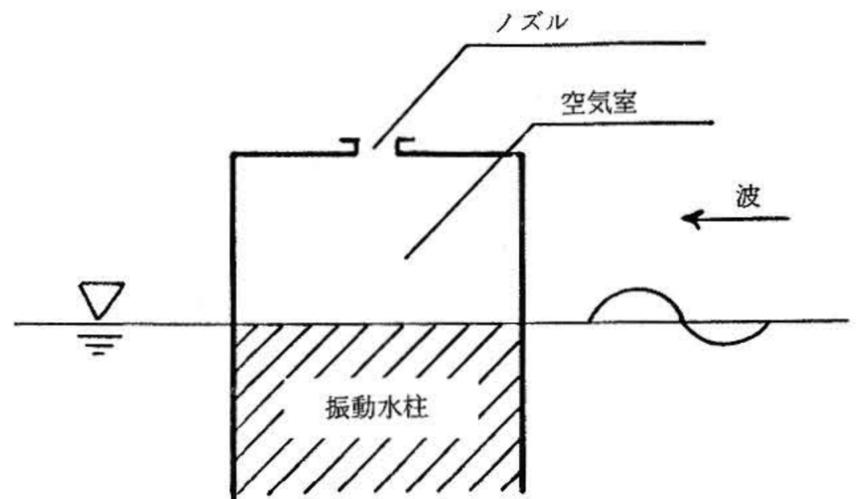


図4 振動水柱型波エネルギー吸収装置の概念図 (対称運動型)

Scheme of OWC wave power device (symmetrical motion type)

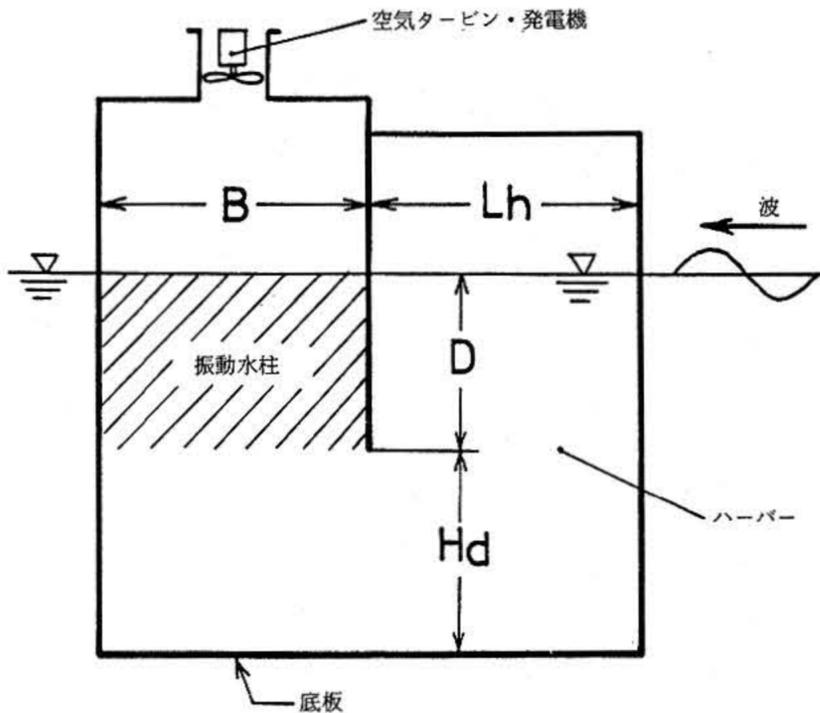


図5 振動水柱型波エネルギー吸収装置の概念図 (非対称運動型)  
Scheme of OWC wave power device (non-symmetrical motion type)

共振状態の現われる周波数範囲を広げるために、図5中に示すようなハーバーが考案された。ハーバーとは、空気室の側壁が前方に突き出された“projecting wall”によって囲まれた部分を称す。これを付けることにより、振動水柱質量を増加させるため共振周期が長周期側に移行すると同時に、装置側方からの波エネルギーの吸収性能を高めることができ、マルチレゾナンスタイプの波エネルギー吸収装置となるとされている。

### 3. 理 論

#### 3.1 Closed form theory

振動水柱型波力発電装置の負荷をここではノズル負荷として扱う。空気室内空気の圧縮性および空気室内に発生する定常波を考慮する計算法として、空気室の開口部面における質量およびエネルギーの保存則から導く Takahashi<sup>11)</sup> の方法を用いて、図6に示すように空気室が着底せず、水中のやぐらに固定された状態で、projecting wallが付かない。(L=0)の場合について応用する。この様な場合、空気室の空気出力効率 $\eta$ は、入射波振幅を $\zeta_1$ として、次式で得られる。

$$\eta = \frac{\kappa p_0}{\rho_w g D_0} \cdot \frac{B \sigma}{c_g} \frac{\zeta_0}{\zeta_1}^2 \sin \sigma \tau \cdot \cos \sigma \tau \quad \dots (1)$$

ここで、 $\rho_w$  : 水の密度

$g$  : 重力加速度

$\kappa$  : 比熱比 ( $c_p/c_v$ )

$c_p$  : 定圧比熱

$c_v$  : 定容比熱

$p_0$  : 大気圧

$\sigma$  : 波周波数

$c_g$  : 波の群速度

$\zeta_0$  : 空気室内波面変動振幅

また $\zeta_1$ と $\zeta_0$ は次式のように結びつけられる。

$$\zeta_1 = 0.5 [\alpha f_k \sin \sigma \tau \cos \sigma \tau + k B]^2 + \{ \alpha f_k \cos^2 \sigma \tau + k B / \tan k B \}^2 ]^{1/2} \dots (2)$$

ここで、 $\alpha = \kappa p_0 / \rho_w g D_0$

$$f_k = \frac{2 \cosh k D_b \cdot \sinh k D_w}{\cosh k D_w \cdot \sinh k D_w + k D_w} \quad \dots (3)$$

$k$  ; 波数 ( $= \sigma^2/g$ )

一方、 $\sigma \tau$ は次式より得られる。

$$\sigma \tau = \cos^{-1} (\pm \sqrt{1 + \xi^2 - \xi}) \quad \dots (4)$$

ここで、

$$\xi = (c_d \cdot \epsilon)^2 (k - 1) \frac{c_p T_0}{(\sigma D_0)^2} \cdot - \frac{D_0}{\zeta_0} \quad \dots (5)$$

$c_d$  : 縮流係数

$\epsilon$  : ノズル比 ( $= S_n/S_w$ )

$S_n$  : ノズル面積

$S_w$  : 空気室面積

$T_0$  : 大気温度 (絶対温度)

数値計算により、(2)式を用いて $\zeta_0$ の近似値を求め(1)式に代入し $\eta$ を求める。

#### 3.2 ハーバー効果

##### 3.2.1 無限水面中

projecting wallが空気室に取り付けられない場合(L>0)については、入射波 $\zeta_1$ がprojecting wallによって増加したとして、前記と同様の方法で求める。

入射波 $\zeta_1$ は空気室に入射して一部が空気エネルギーとして取り出された後、一部は反射波としてprojecting wall内を進行する。反射波振幅 $\zeta_r$ は反射波係数をrとすると次式で表わされる。

$$\zeta_r = r \zeta_1 \quad \dots (6)$$

projecting wallの先端まで進行した波は、先端において無限領域に発散するとともに、一部は反射されて再びprojecting wall内を空気室方向に進行していくと仮定した Countら<sup>13)</sup>の方式に

よると、この時の反射係数をRとすると、これによって生じた進行波の波高 $\zeta'$ は

$$\zeta' = rR\zeta_1 \quad \dots\dots\dots (7)$$

であり、これが入射波に重ね合わせられて、再び空気室へ入射してくる。

これが繰り返されるのであるから、 $r$  および  $R$  が周波数のみに依存する値であるとする、 $\zeta'$  が重ね合わせられた入射波の波高  $\zeta_1$  は次式で表わされる。

$$\zeta_1' = \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} (rR)^n \right\} \zeta_1 \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで  $r$  は空気室内水塊 (図1中の斜線部) の発散波振幅比であり、一方、 $R$  は Nobel<sup>14)</sup> によれば  $a = A/2$  として、次式で求められるとしている。

$$R = e^{-ka} e^{2ik(L+l)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

また、 $l$  は "付加長さ" と呼ばれ、次式で求められている。

$$\frac{l(ka)}{a} = \pi^{-1} \left( 1 - r + \log \frac{2\pi}{ka} \right) - (ka)^{-1} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \sin^{-1} \frac{ka}{n\pi} - \frac{ka}{n\pi} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 $r$  ; オイラー定数 ( $\approx 0.5772$ )

projecting wall に平行な水路中においては、 $R$  は Wiener Hopf の方法を用いて次のようになる。

$$R = - (1 - \mu) e^{2ik(L+l)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 $\mu = a/b$  ,  $ka < \pi$  であり、この場合の "付加長さ"  $l$  は次式にて得られる。

$$\frac{l(ka)}{a} = \pi^{-1} \left\{ \log \mu^{-1} + (1 - \mu) \mu^{-1} \log(1 - \mu)^{-1} \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \sin^{-1} \frac{\mu^{-1} ka}{n\pi} - \sin^{-1} \frac{ka}{n\pi} - \sin^{-1} \frac{\mu^{-1}(1 - \mu) ka}{n\pi} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

#### 4. 実験 4.1 供試模型

実験に使用した供試模型は次に示す3種類である。なお、ノズル比はいずれも1/100である。

##### 1) 底板なし固定空気室

本体は図6に示すように幅  $B = 45\text{cm}$  , 長さ  $L = 397.8\text{cm}$  , 高さ  $h = 70\text{cm}$  , の底のない長方形の箱であり、それを9つの空気室内圧力変動を測定するためにガス口がそれぞれ取り付けられている。

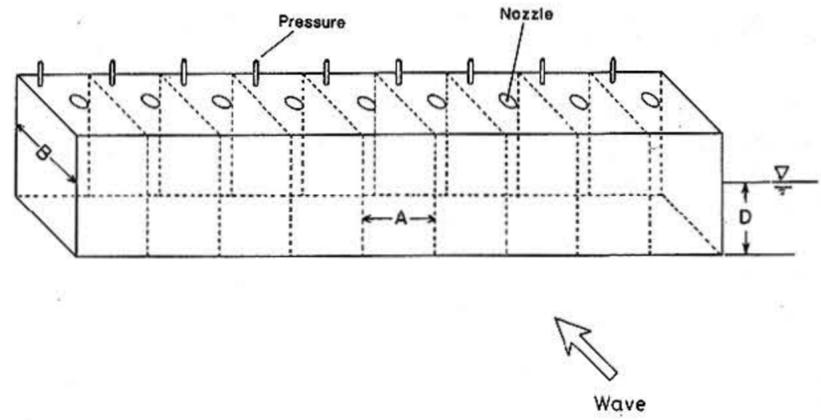


図6 底板なし固定空気室概略図  
Scheme of a fixed air chamber without bottom

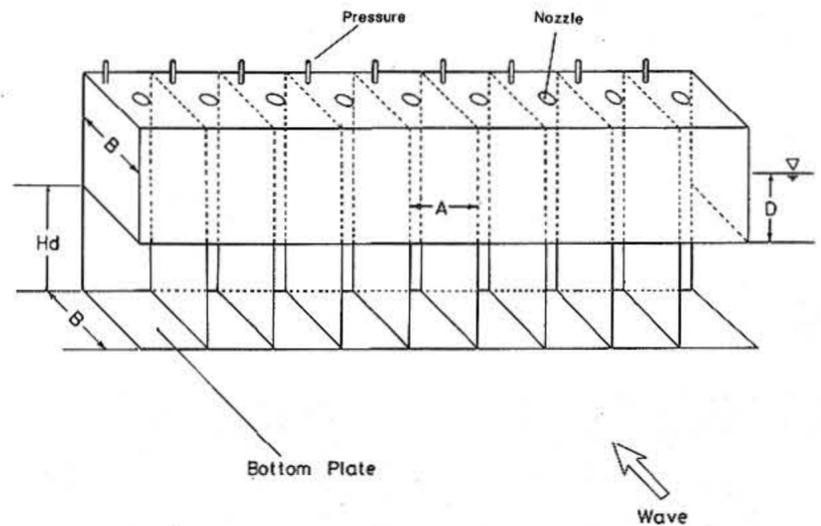


図7 底板付き固定空気室概略図  
Scheme of a fixed air chamber with bottom plate

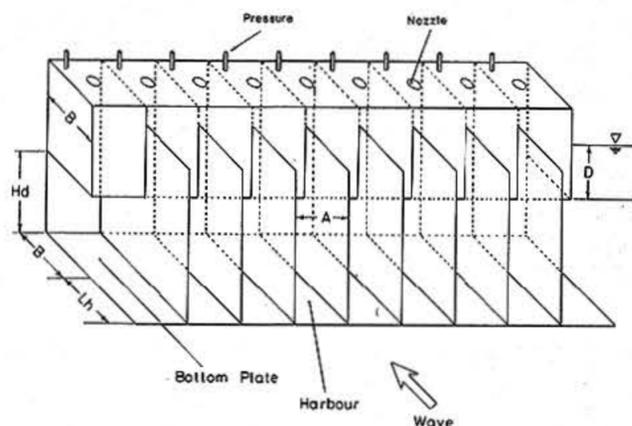


図8 ハーバー付き固定空気室概略図  
Scheme of a fixed air chamber with harbour

## 2) 底板付固定空気室

図7に底板付固定空気室の概要を、写真1にその外観を示す。底板は、底板深さ  $H_d$  だけ、波入射方向に開口している。

## 3) ハーバー付固定空気室

図8にハーバー付固定空気室の概要を、写真2にその外観を示す。空気室の隔壁の前方に突き出した鉛直壁 (projecting wall) によって囲まれたところをハーバーと呼ぶ。この高さは、喫水  $D$  と底板深さ  $H_d$  の和より十分高く、空気室全面に生じる定常波がこれを越えて、側方に流出しないようにしてある。

これらの模型は、水槽中の消波装置直前に堅固に固定された。

### 4.2 実験装置および模型

実験には、海洋科学技術センター内の波動水槽 (長さ40m, 幅4m, 水深2m) を使用し、波高約5cm, 周期約0.8秒から約4秒の規則波を約20から30種造波して、計測を行った。

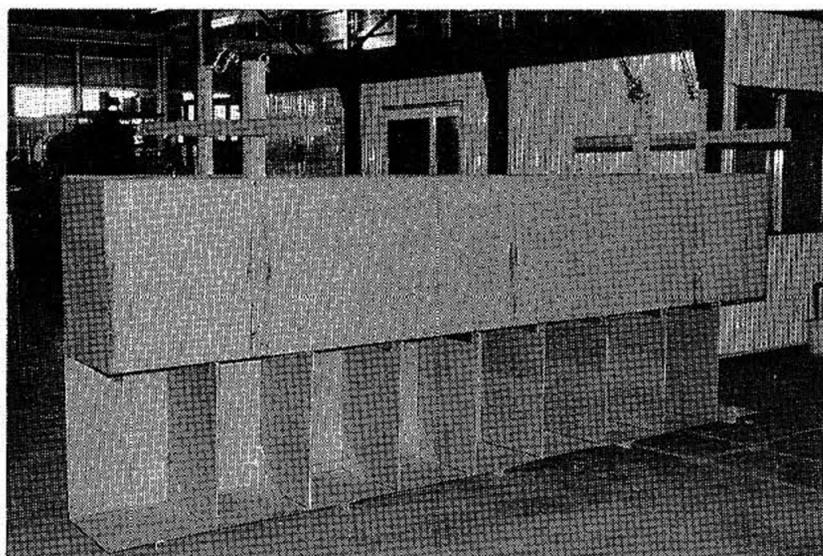


写真1 底板付き固定空気室  
Fixed air chamber with bottom plate

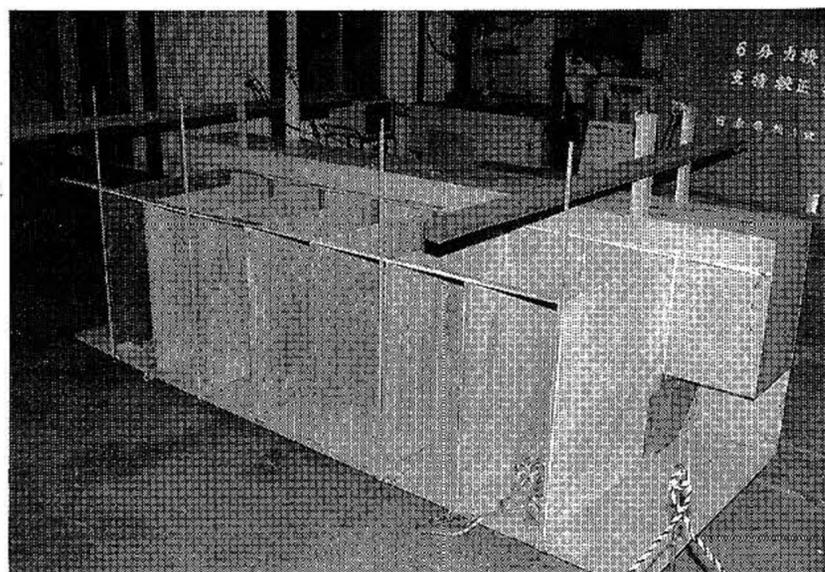


写真2 ハーバー付き固定空気室  
Fixed air chamber with harbour

計測は、模型前方約25mの水槽中央において容量式波高計を用いて入射波について、またノズル開放空気室において圧力計を用いて空気室内圧力について行った。

ただし、模型によって反射された波が、入射波測定用波高計に再入射するまでの時間だけ造波を行い、模型には造波板で再反射された波が重ね合わせて入射することがないようにした。また造波を行なうにも十分に水面が静穏になってから実験を行なった。

### 4.3 実験条件

4.1に示した3種の供試模型について、図6～図8中に示す空気室天端のノズル孔を、表1に示すような組み合わせで開閉して、実験を行った。

表1中において、空気室間隔  $A$  は全てのノズルを開放した状態であり、あたかも一つの水槽幅の空気室を設置した時と同様に取り扱うことができ、したがって二次元状態となる。一方、 $B$  は一つおきに、 $C$  は二つおきに、そして  $F$  は中央の空気室のみについてノズルを開放した状態であり、いずれもノズルが開放された空気室、即ち波エネルギー吸収を行う空気室は、その側方からの影響を受け、三次元状態となる。

表1 空気室の並列配置状態  
Pararell arrangement  
of air chambers

(O: 開放, X: 閉鎖)

空気室 番号 空気室間隔	1	2	3	4	5	6	7	8	9	空気室間 距離 m
A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	0.44
B	O	X	O	X	O	X	O	X	O	0.88
C	X	O	X	X	O	X	X	O	X	1.32
F	X	X	X	X	O	X	X	X	X	4.00

### 4.4 解析方法

マルチペンレコーダーに記録されたデータをもとに、以下に示す諸式を用いて各空気室の比圧力、および波エネルギー吸収効率を求めた。<sup>15)</sup>

空気室内の水面が常に水平であり、その上下変動により変化する空気室内空気量が全てノズルを通して流入・流出するとすれば、

$$Q = A_w \cdot \dot{\zeta}(t) \quad \dots\dots (13)$$

ここで、 $Q$  ; ノズルを通る空気流量

$A_w$  ; 空気室内水線面積

$\dot{\zeta}$  ; 水柱上下揺れ速度

したがって、ノズルを通過する速度 は

$$V_n = Q / S' \quad \dots\dots (14)$$

ここで、 $S'$ はノズル面積にノズル縮流係数を乗じた値である。空気流が速度 $V_n$ で通過する時、そこに生じる動圧 $p_d$ は、

$$p_d = \frac{\rho_a}{2} \cdot V_n \cdot |V_n| \quad \dots\dots (15)$$

ここで、 $\rho_a$  ; 空気密度 (15°C ; 0.125 kg/m<sup>3</sup>)

一方流動する物体の持つエネルギー $L$ は、ノズル断面を単位時間に通過する流体流量とその断面におよぼす圧力の積であるから、

$$L = p \cdot Q [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{S}] \quad \dots\dots (16)$$

ここで、

$$V_n = \sqrt{2 p_d / \rho_a} \quad \dots\dots (17)$$

$$Q = V_n \cdot S' = \sqrt{2 / \rho_a} \cdot S' \cdot \sqrt{p_d} \quad \dots\dots (18)$$

であるから、 $p \doteq p_d$  とすると、(13)式および(15)式より振動水柱が行う仕事 $W$ は次式で得られる。

$$\begin{aligned} W &= p \cdot \sqrt{2 / \rho_a} \cdot S' \cdot \sqrt{p_d} \\ &= \sqrt{2 / \rho_a} \cdot S' \cdot p_d^{3/2} [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{S}] \quad \dots\dots (19) \end{aligned}$$

さて  $p_d$  は値としては、前述したようにピーク値を用いるのであるから、それを用いて時間平均の値を求めなければならない。(15)式に示すように  $p_d$  は、ノズル通過速度  $V_n$  の二乗に比例するから、 $V_n$  は流速振幅  $V_a$  を用いて、

$$V_n = V_a \cdot \sin \omega t \quad \dots\dots (20)$$

で表わされるとすれば、 $p_d$  は圧力振幅  $p_a$  を用いると

$$p_d = p_a \cdot \sin^2 \omega t \quad \dots\dots (21)$$

となる。

一方、(19)式に示すように吸収エネルギーは、 $p_d$  3/2乗に比例するから、その時間平均値  $W_m$  周期を  $T_w$  として、

$$W_m = \frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} \sqrt{2 / \rho_a} \cdot S' \cdot p_a^{3/2} |\sin^3 \omega t| dt$$

$$= c_m \sqrt{2 / \rho_a} \cdot S' \cdot p_a^{3/2} \quad \dots\dots (22)$$

ここで、 $c_m$  は次に示す平均化定数である。

$$\begin{aligned} c_m &= \frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} |\sin^3 \omega t| dt \\ &\doteq 0.4244 \quad \dots\dots (23) \end{aligned}$$

さて、入射してくる波のもつエネルギーに対する出力エネルギーの比、つまり出力効率を求める。

まず単位幅あたりの波の持つエネルギーは、<sup>16)</sup>

$$E = \frac{1}{8} \rho_w \cdot g \cdot n \cdot c \cdot H_w^2 \cdot T_w \quad \dots\dots (24)$$

ここで、 $\rho_w$  ; 海水密度

$g$  ; 重力加速度

$c$  ; 波速

$H_w$  ; 波高

$T_w$  ; 波周期

一方、本研究においては入射波を深海波としているので、

$$n = \frac{1}{2}, \quad c = (g/2\pi) \cdot T_w$$

とすると、

$$E = \frac{\rho_w g^2}{32\pi} \cdot H_w^2 \cdot T_w [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{S}] \quad \dots\dots (25)$$

これを用い、空気室の波エネルギー吸収効率であるエネルギー吸収幅比 (absorbed width ratio)  $\eta$  は、装置幅を  $B$  として、

$$\eta = W_m / E \cdot B \quad \dots\dots (26)$$

とする。

## 5. 結果および考察

波周期に対する波エネルギー吸収幅比 (absorbed width ratio)  $\eta$  の特性を用い、各条件について、考察を行う。なお、特性図中に示すプロット実験値である。また、実線は、3.に示す方法で得られた計算値であり、空気室間隔  $A$  の二次元状態に相当する。<sup>17)</sup>

### 5.1 底板なし固定空気室

底板なし固定空気室による波エネルギー吸収特性を図9に示す。これより、振動水柱の上下揺れによって発生する発散波が最も大きい共振周期 (約 1.8 秒) 付近においても、空気室間隔の違いによる影響は小さいことが判る。これより、この

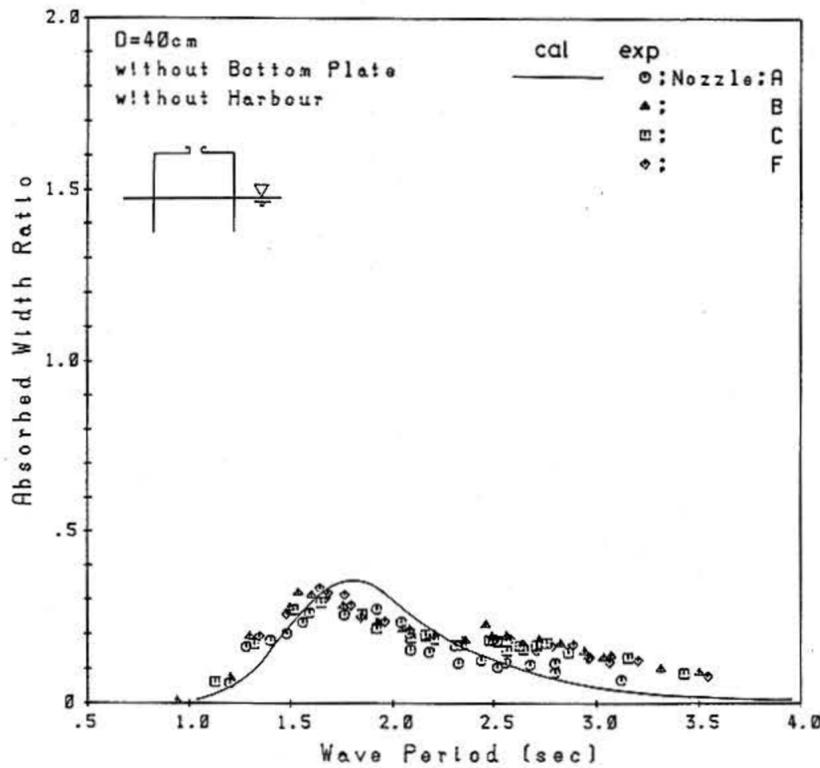


図9 底板なし固定空気室の波エネルギー吸収特性  
 Characteristics of wave power absorption by the fixed air chamber without bottom plate

ような二次元対称運動型の装置では並列配置による効果は小さいことが明らかになった。

### 5.2 底板付き固定空気室

底板付き固定空気室による波エネルギー吸収特性を図10に示す。これより、底板を付けることに

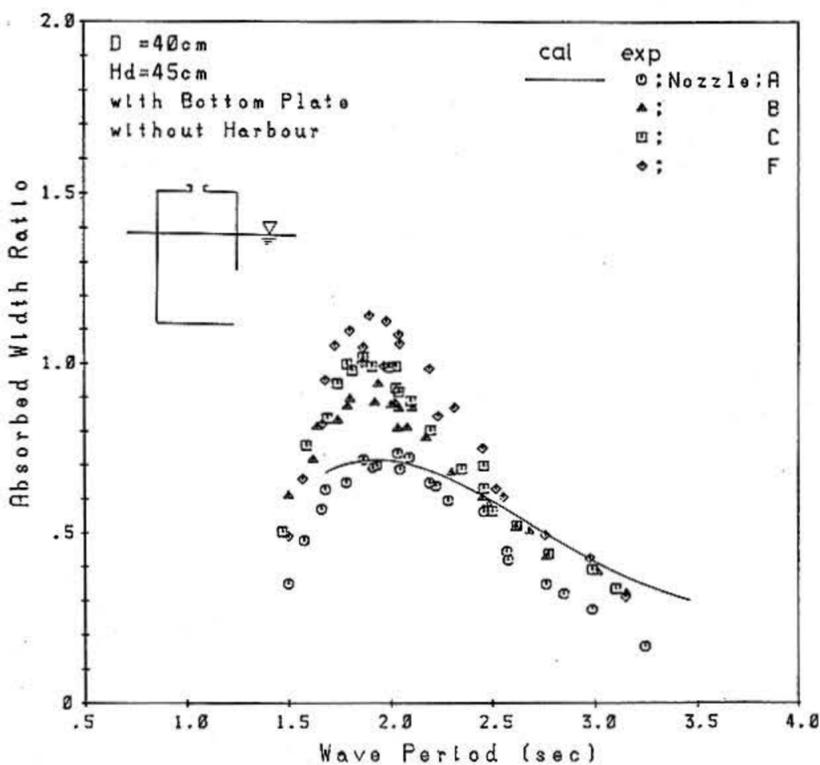


図10 底板付き固定空気室の波エネルギー吸収特性  
 Characteristics of wave power absorption by the fixed air chamber with bottom plate

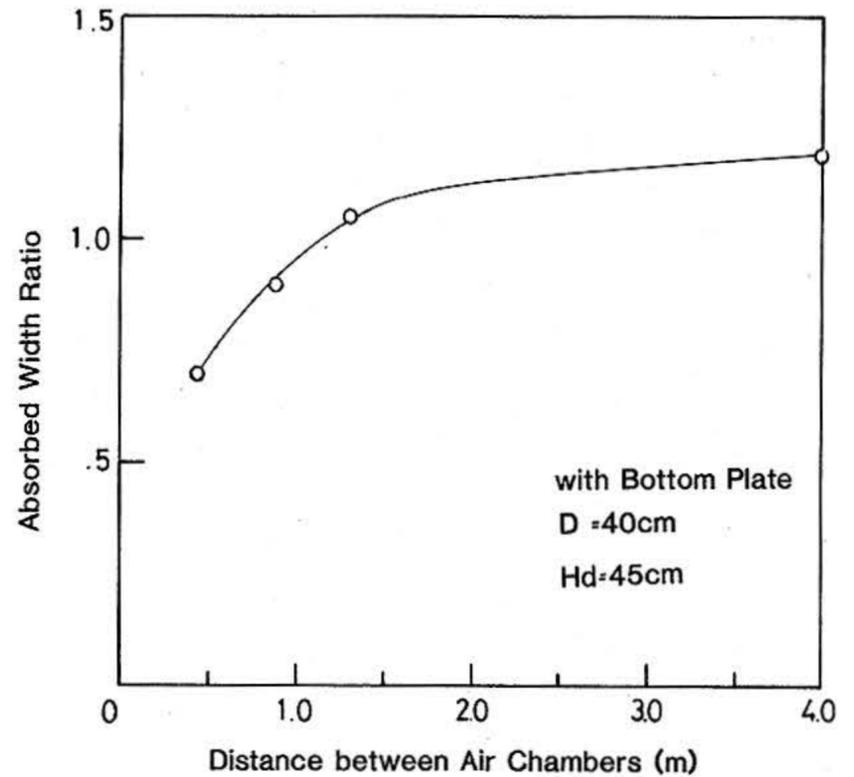


図11 底板付き空気室の空気室間隔影響  
 Effect on the distance between air chambers by the fixed air chamber with bottom plate

よって並列配置による効果として各空気室の側方からの波エネルギー吸収が行われ、ノズル孔の開いた、すなわち波エネルギーを吸収する空気室の間隔にはほぼ比例して吸収効率が向上することが判った。これより、このような非対称運動型の装置は三次元効果が現われることが明らかになった。

一方、各空気室間隔A、B、CおよびFについて、波周期約1.9秒付近に出現する各々の最大効率をノズル開放空気室の中心間距離に対してプロットすると図11に示すような特性となる。なお、Fについては水槽側壁による鏡像効果を考慮して4mとした。これより、空気室間隔の2倍程度をあけて複数の空気室を設置すれば、十分に並列配置による効果があることが明らかになった。

### 5.3 ハーバー付き固定空気室

ハーバー付き固定空気室による波エネルギー吸収特性として、ハーバー長さ ( $L_h$ ) 45cmの状態について図12に、90cmの状態について図13に示す。

これより、底板に加えて更にハーバーを取付けることにより、三次元効果は一層顕著になり、底板なし空気室に比べて全周波数領域に亘って効率は大きく向上することが判った。これは、各空気室の側方から波エネルギー吸収がハーバー部においても行われたためと考えられる。

また、ハーバー長さ ( $L_h$ ) が空気室奥行と同

等程度の状態では現われていない短周期側のピークが、空気室幅の2倍程度の状態で出現している。これより、ハーバーを空気室奥行の2倍程度突き出した型式の空気室はマルチレゾナンス型の装置となることが確認された。

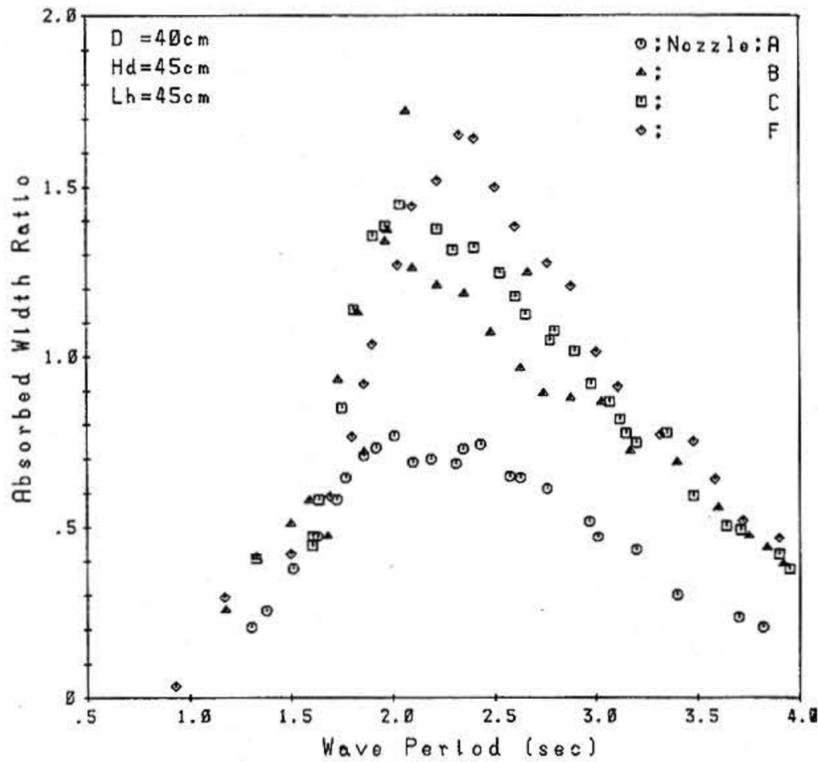


図12 ハーバー付き固定空気室の波エネルギー吸収特性(1)  
Characteristics of wave power absorption by the fixed air chamber with bottom plate (1)

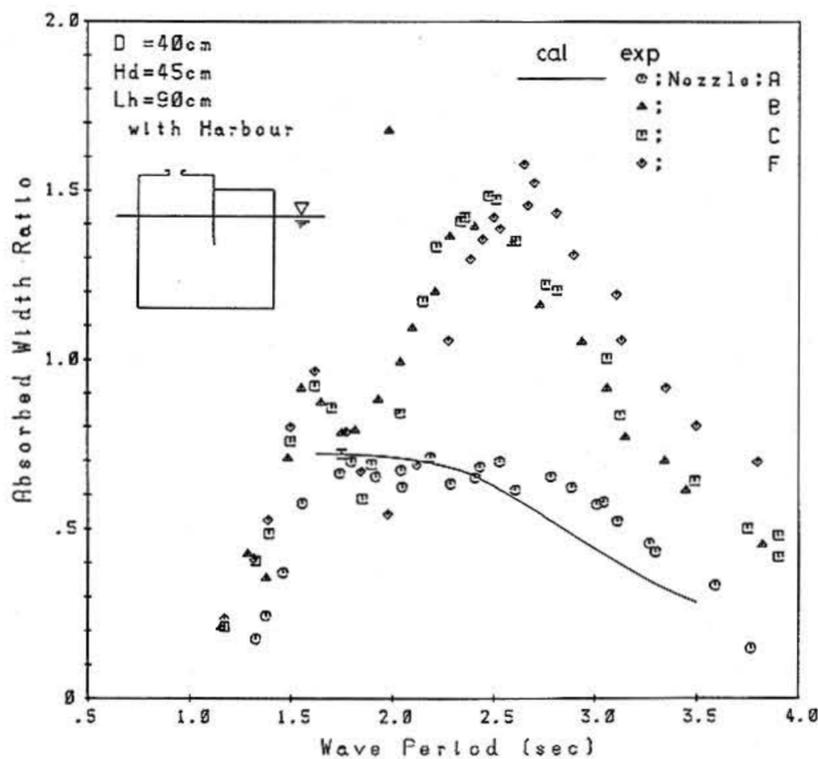


図13 ハーバー付き固定空気室の波エネルギー吸収特性(2)  
Characteristics of wave power absorption by the fixed air chamber with bottom plate (2)

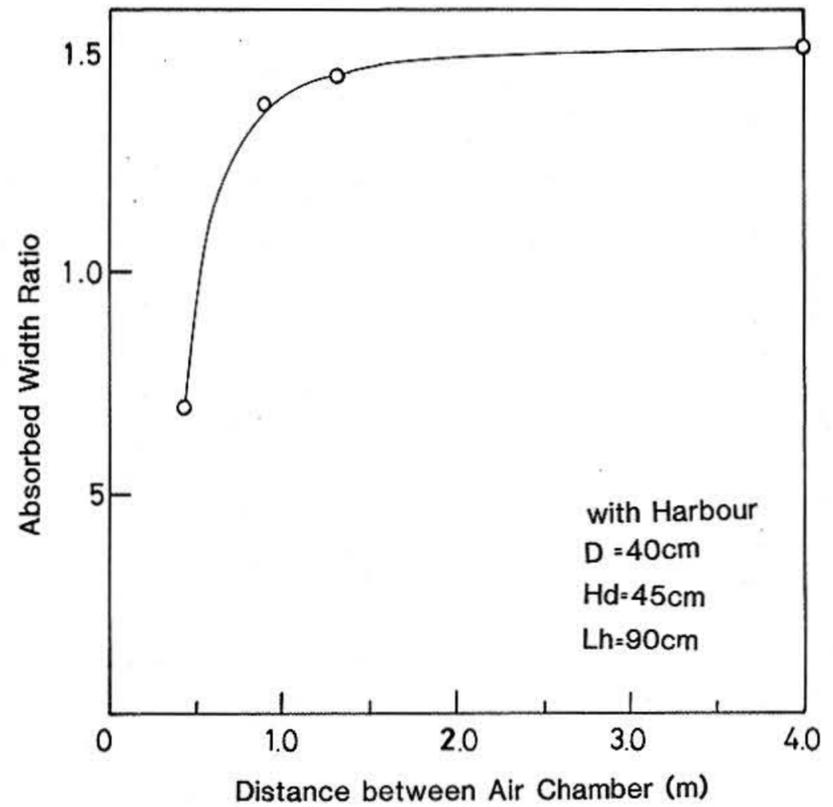


図14 ハーバー付き空気室の空気室間隔影響  
Effect on the distance between air chambers by the fixed air chamber with harbour

一方、図11と同様に、ハーバー長さ90cmのハーバー付き固定空気室について、波周期約2.5秒付近に出現する吸収効率のピーク値の空気室間隔に対する特性をプロットしたものを図14に示す。これより、ハーバー付き固定空気室の場合には、空気室幅と同程度の間隔をあけて空気室を設置することにより、十分に並列効果が期待できることが明らかになった。

#### 5.4 空気室形状による効果

底板なし、底板付きおよびハーバー付きの3種の固定空気室の波エネルギー吸収特性について、空気室間隔Aすなわち二次元状態のときの値を図15に、空気室間隔Fすなわち三次元状態のときの値を図16に示す。

これらより、振動水柱運動が非対称運動型となるほうが波エネルギー吸収効率は高く、そのなかでもハーバーを取り付けることによって長周期領域にまで効率が向上することが確認された。

この現象は二次元状態に比べ三次元状態は一層顕著であり、とりわけハーバー付き固定空気室を適切な間隔だけ離して並列に配置することによって「マルチレゾナンス型」と呼ばれる波エネルギー吸収装置となり、広い波周波数領域に亘って吸

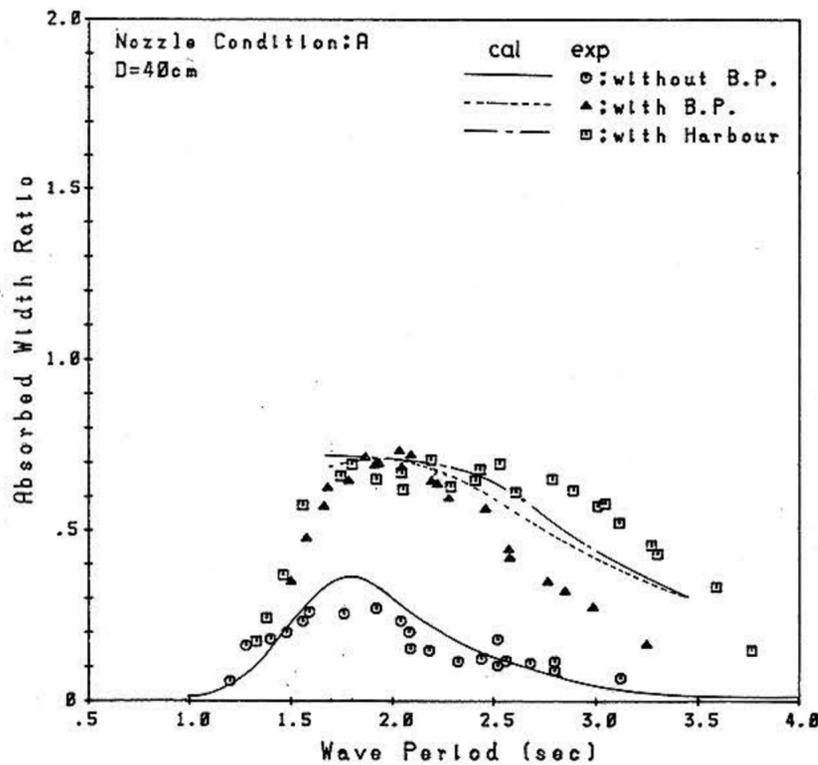


図15 二次元固定空気室の波エネルギー吸収特性

Characteristics of wave power absorption by the fixed 2-dimentional air chamber

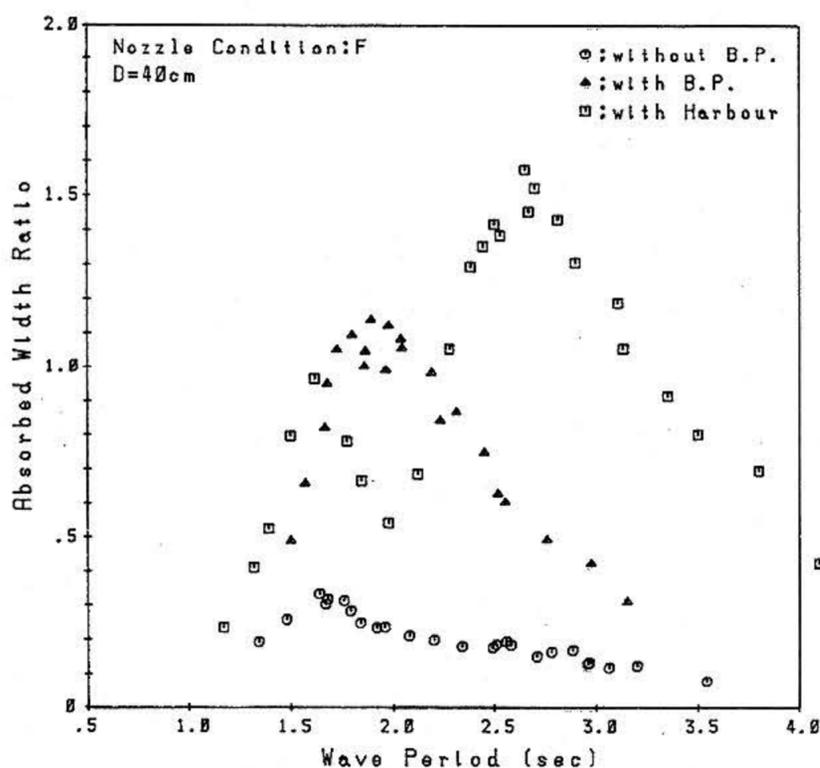


図16 三次元固定空気室の波エネルギー吸収特性

Characteristics of wave power absorption by the fixed 3-dimentional air chamber

収効率を向上することができ、効果的であることが明らかになった。

## 6. 結 言

並列配置された底板なし、底板付きおよびハーバー付き固定空気室の基本モデルを用いた規則波

中波エネルギー吸収特性試験により、次のような知見を得た。

- 1) 従来の固定空気室に底板さらにハーバーを取り付けることにより、全周波数領域に亘って波エネルギー吸収効率が向上する。
- 2) ハーバー付き空気室を空気室幅程度の間隔で離して並列配置することにより、三次元効果が現われ、吸収効率は一層向上する。
- 3) このようなハーバー付き空気室のハーバー長さが空気室奥行の2倍程度のとき、短周期側においても吸収効率のピーク値が出現し、「マルチレゾナンス型」の波エネルギー吸収装置となる。

## 7. おわりに

沿岸固定式波力発電装置は、装置自体がコンパクトであることから、建造、設置およびメンテナンスが容易であり、小規模の波力発電装置として実用化寸前にある。なかでも、港湾整備事業の一環として建設される防波堤に、図17に示すように組み込まれる方式は、空気室が消波の役割りを果たすため消波ブロックが不要となることから、建設コストも安価になるとされている。そして、このような防波堤組み込み型波力発電装置は、複数基が設置され運転されることになるであろう。

一方、「海明」のような浮体型式の波力発電装置についても、複数基を並列して設置することにより大規模発電を目指す。複数装置による効果についても検討しなければならない。

そこで、このような問題について検討を進め、

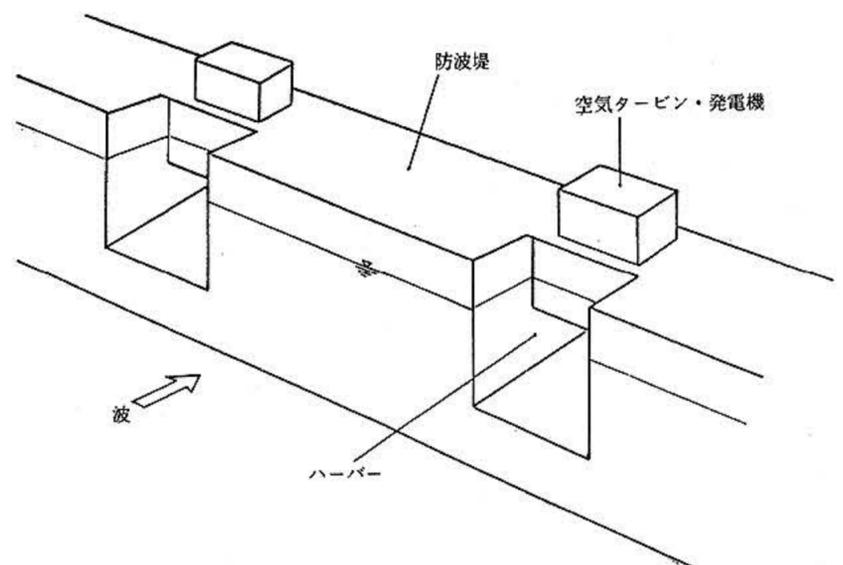


図17 防波堤組み込み型波力発電装置

Wave power device fixed in a break water

可能性とその効果を推測するため、この研究が行われた。しかし、今後さらに不規則波中、斜め波中など数多くの条件下での研究を行い、実機装置に関する技術を開発する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり貴重なご助言を賜りました東海大学海洋学部海洋土木工学科酒匂敏次教授ならびに運輸省港湾技術研究所水工部波エネルギー研究室高橋重雄室長に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 石井進一, 益田善雄, 宮崎武晃, 工藤君明, 堀田平, 鷺尾幸久; 沿岸固定式空気タービン波力発電装置の発電運転試験, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第14号, pp. 55~79, (1984)
- 2) 平本嵩, 玉木一三, 益田善雄; 沿岸固定式波力発電システムの開発, 第1回波浪エネルギー利用シンポジウム, pp. 403~409, 海洋科学技術センター, (1984)
- 3) 堀田平, 鷺尾幸久, 石井進一, 益田善雄, 宮崎武晃, 工藤君明; 沿岸固定式波力発電装置の開発, 第10回海洋開発シンポジウム, pp. 83~88, 土木学会, (1985)
- 4) 菊池省吾; 沿岸固定空気タービン式波力発電, 海洋エネルギー商業化の時期と条件に関するシンポジウム, pp. 44~54, ECOR 日本委員会, (1985)
- 5) 堀田平, 鷺尾幸久, 益田善雄, 石井進一, 宮崎武晃, 工藤君明; 沿岸固定式波力発電装置の発電運転試験, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 702~706, 土木学会, (1985)
- 6) H. Hotta, Y. Washio, S. Ishii, Y. Masuda, T. Miyazaki, K. Kudo: An Operation Test on the Shore Fixed Type Wave Power Generator, 5th International Symposium & Exhibition on offshore Mechanics and Arctic Engineering, (1986)
- 7) 鷺尾幸久, 堀田平, 宮崎武晃, 益田善雄; タンデムウェルズタービンの実機性能試験, 第1回波浪エネルギー利用シンポジウム, pp. 191~199, 海洋科学技術センター, (1985)
- 8) 高橋重雄; 波力発電ケーソン防波堤の開発, 昭和60年度港湾技術研究所講演会講演集, pp. 1~57, 運輸省港湾技術研究所, (1985)
- 9) 小島郎史, 合田良実, 鈴木諭司; 波力発電ケーソンの空気出力効率の解析——波エネルギーに関する研究——第1報, 港湾技術研究所報告, 第22巻3号, pp. 125~158, (1983)
- 10) 小島郎史, 鈴木諭司; 波力発電ケーソンに働く波力特性に関する実験——波エネルギーに関する研究——第2報, 港湾技術研究所報告, 第23巻1号, pp. 53~81, (1984)
- 11) Takahashi, S., Ozima, R., Suzumura, S.: Air power of pneumatic type wave power extractors due to irregular wave actions — A study on development of waver power (3rd report) —, Rept. Post and Harbour Research Institute, Vol. 24, No. 1, pp. 3~41, (1985)
- 12) 高橋重雄, 鈴木諭司, 明瀬一行; 波力発電ケーソンに設置されたウェルズタービンの出力計算法——波エネルギーに関する研究——第4報, 港湾技術研究所報告, 第24巻2号, pp. 159~192, (1985)
- 13) Count, B. M., Evans, D. E.: The influence of projecting side walls on the hydrodynamic performance of wave-energy, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 145, pp. 361~376, (1984)
- 14) Noble, B.: Methods based on the Wiener-Hopf technique, Pergamon, (1985)
- 15) 宮崎武晃, 堀田平, 構溝宏典; 固定空気室の空気流位相制御による空気出力向上の推定, 波力発電装置「海明」研究成果報告書(その2), pp. 21~33, 海洋科学技術センター, (1982)
- 16) 堀川清司; 海岸工学, 東京大学出版会, (1979)
- 17) 林秀明, 堀田平; 振動水柱型波力発電装置の並列配置効果に関する実験研究, 第13回土木学会関東支部技術研究発表会講演集, (1986)

(原稿受理: 1986年3月20日)