

防波堤に組み込まれた振動水柱型波力発電装置の 一次変換効率に関する研究

正員 中川 寛之* 植木 圭一**

Study on absorbed wave power by air chambers installed in break water

by Hiroyuki Nakagawa, *Member* Keiichi Ueki

Summary

It is presented how to calculate the efficiency of wave power absorption by oscillating water column type wave power devices installed in a breakwater. Experimental results and theoretical calculation results on amplitude of pressure in air chambers are shown. The theoretical calculation results, in which the compressibility of air is taken account and the pressure surface condition on the water surface of air chamber is strictly satisfied, are good agreement with experimental ones. The wave power generating system for demonstration was constructed in a breakwater in Hara Machi City of Fukushima Prefecture, Japan. Field data (from '96~'98) as to the pressure in air chambers are shown together with theoretical calculation results. Theoretical calculation results are good agreement with experimental ones obtained in Hara Machi field. Finally, it is shown where to install oscillating water column in a breakwater, from the viewpoint of energy absorption efficiency.

1. 緒 言

1970年代の石油危機を契機として、石油に代わる代替エネルギーの開発が重要な課題と考えられ、自然エネルギー利用技術に関する研究・開発が行われてきた。1997年京都議定書の議決は、エネルギーの大量消費に対する見直しを迫るもので、風力発電や太陽光発電などの普及に拍車をかけた。自然エネルギー利用技術の一つである波力発電についても、種々の理論的な検討が行われると共に、JAMSTECの「海明」、沿岸固定式(三瀬)、消波工型安定化タンク方式(九十九里)、マイティーホエール(五ヶ所湾)、水弁集約式波力発電システム(原町)などの実証実験機を使った研究が行われてきたが、沿岸・海洋における施設の建設・維持コストが陸域の施設に比べて割高なこと等もあり、日本国内においては、残念ながら本格的な実用化に至っていないのが現状である。

しかしながら、現在日本は世界6位の排他的経済水域を有しており、しかもその経済水域内においてメタンハイドレートなどの新しい資源の存在が確認されるなど、将来的には経済活動が沿岸・海洋に展開される可能性が高まっている。沿岸・海洋でのエネルギー確保を前提に考えれば、波力発電装置は、風力発電や太陽光発電などに比べて遜色の無い重要な

電源オプションの一つとしてクローズアップされることが予想される。

波力発電装置は、浮体の運動エネルギーを利用する方式の装置と振動水柱型装置に大別されるが、エネルギー吸収部に可動部が無いという構造設計上の利点などもあって、日本においては振動水柱型装置が有望と考えられている。石油危機直後の波力発電に関する精力的な研究により、基本的な特性については、ほぼ解明されているが^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}、それらの研究は、単体装置の性能に関するものがほとんどであり、装置間の干渉効果などを含む3次元装置としての性能については、必ずしも十分な検討が行われているとは言えない。

本論では、複数の空気室を有する振動水柱型波力発電装置の特性に関して理論計算法の概要を示すと共に、水槽での模型実験の結果及び実海域における検証実験の結果を示し、3次元装置としての性能について考察する。

2. 理論計算法

振動水柱型装置の一次変換効率計算法については、これまでに、前田ら^{1), 2), 11)}、木下ら⁴⁾、中村ら⁹⁾、小島ら¹⁰⁾が検討しており、等価浮体法の有用性¹¹⁾や空気室空気の圧縮性影響^{4), 10)}などに関する興味深い結果が示されている。最近では、大澤⁷⁾らがマイティーホエールのエネルギー吸収量を計算するに当たって3次元特異点分布法を用いた計算手法を示している。大澤らの方法は、波浪中において空気室水面が

* ㈱三井造船昭島研究所

** 東北電力㈱研究開発センター

上下し、これに基づき空気室内に変動圧力が作用する時のポテンシャルを求める方法であり、空気室内の水面変位の影響を考慮することが可能である。大澤らの方法は、空気室水位の変形を考慮できるが、境界条件式の中に、本来未知数である空気室の変位が含まれており、数値計算上の工夫が必要である。また、空気室空気の高圧縮性の指標となる圧力係数は実験的に求めるとしてあり、実機スケールでの計算では、なんらかの方法で圧力係数を推定して計算せざるを得ない。

また Falnes は、動揺浮体と振動水柱によるエネルギー吸収理論についてまとめており¹²⁾、複数の波エネルギー吸収装置による吸収エネルギー計算法を示している。さらにその中で、空気流量を圧力振幅と空力アドミッタンスの積で表すことができるとしているが、空力アドミッタンスの具体的な計算方法については触れていない。

本論では、空気室での圧力水面条件及び空気室内空気の高圧縮性の影響を合理的に考慮する方法を示す。

2.1 座標系

座標系として、Fig 1 に示す防波堤前面の静止水面上に原点を有し、防波堤に直角な方向に x 軸を、鉛直上向きに z 軸を取った右手座標系を定義する。入射波の進行方向は、防波堤に沿う方向を 0 度とする。

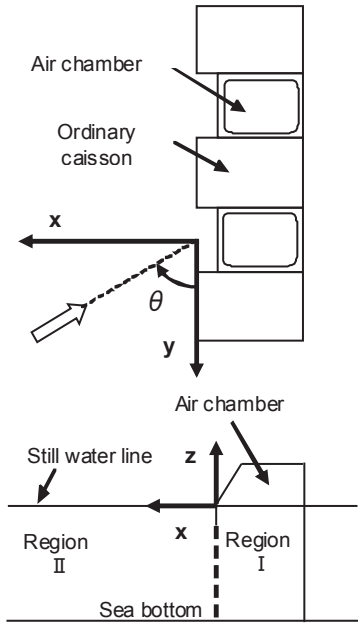


Fig 1 Coordinate system

2.2 流体場の基礎式及び境界条件

流体は非粘性、非圧縮性であるとし、定常周期運動を仮定すると、流体場の速度ポテンシャル $\Phi(x, y, z; t)$ 及び空気室 m の室内圧力 $P_m(t)$ 及び室内水面変位 $Z_m(x, y; t)$ は、

$$\Phi(x, y, z; t) = \Re(i\omega\zeta_0\phi(x, y, z)e^{-i\omega t}) \quad (1)$$

$$P_m = \Re(-\rho g\zeta_0 p_m e^{-i\omega t}) \quad (2)$$

$$Z_m(x, y; t) = \Re(\zeta_0\zeta_m(x, y)e^{-i\omega t}) \quad (3)$$

$$\phi(x, y, z) = \phi_0 + \phi_d + \sum_{m=1}^n p_m \phi_{rm} \quad (4)$$

- ; $\Re(\quad), \text{Im}(\quad)$: 実数部、虚数部を表す
 - i : 複素単位
 - ω : 円周波数 ($= 2\pi/T_w$)
 - ρ, g : 流体密度, 重力加速度
 - ϕ_0, ζ_0, T_w : 入射波ポテンシャル, 入射波の振幅, 入射波の周期
 - ϕ_d : diffraction ポテンシャル
 - p_m, ζ_m : 空気室 m の圧力, 水位複素振幅
 - ϕ_{rm} : " radiation ポテンシャル
- と表すことができる。

(4)式において、diffraction ポテンシャルは空気室内の変動圧力は零(大気圧)で、空気室に規則波が入射している時のポテンシャルであり通常の自由表面条件を満足する。また、radiation ポテンシャルは入射波が零で空気室内に変動圧力が作用している時のポテンシャルであり、室内水面において圧力水面条件を満足する。従って、diffraction ポテンシャル (ϕ_d) 及び radiation ポテンシャル (ϕ_{rm}) は、空気室の水面境界において、

$$\frac{\partial\phi_d}{\partial z} = k_0\phi_d, \quad \frac{\partial\phi_{rm}}{\partial z} = k_0\phi_{rm} - 1; \quad k_0 = \frac{\omega^2}{g} \quad (5)$$

の境界条件を満足する。

2.3 速度ポテンシャルの具体的な計算法

物体上、開口部 (Fig.1 における領域 I, II の接合部) 及び空気室内水面を微小要素に分割し、要素上でポテンシャルと速度が一定とすると、次に示す多元連立方程式が得られる。

$$[A]_{\text{I}} \begin{bmatrix} \phi_{\text{I}} \\ \phi_{\text{III}} \end{bmatrix} = [B]_{\text{I}} \begin{bmatrix} V_{\text{I}} \\ V_{\text{III}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[A]_{\text{II}} \begin{bmatrix} \phi_{\text{II}} \\ \phi_{\text{III}} \end{bmatrix} = [B]_{\text{II}} \begin{bmatrix} V_{\text{II}} \\ V_{\text{III}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

ここに、マトリックス $[A], [B]$ の要素は

$$A_{ij} = \begin{cases} \iint \partial G(P, Q) / \partial n \, ds_Q & (i \neq j) \\ 1/2 & (i = j) \end{cases} \quad (8)$$

$$B_{ij} = \iint G(P, Q) \, ds_Q \quad (9)$$

である。ここに、

$G(P, Q)$: グリーン関数

$P = (x_p, y_p, z_p)$: 流体中の点

$Q = (x_Q, y_Q, z_Q)$: 境界上の点
 $[V]$: 境界における速度

であり、本論では外部領域を考える時には無限遠での発散波条件を満足する有限水深のグリーン関数を、内部領域を考える時には

$$G(P, Q) = -r_{PQ} / 4\pi \quad (10)$$

ここに、 r_{PQ} : P 点と Q 点の距離 である。
を用いた。また、添え字 I, II, III は、それぞれ外部領域(領域 I)、内部領域(領域 II)及び開口部の諸量であることを意味している。

ここで、

N_I : 外部領域の固定境界の要素数

N_{II} : 内部領域の固定境界及び水面の要素数

N_{III} : 開口部の要素数

とすると、未知数は、固定境界でのポテンシャル($N_I + N_{II}$ 個)及び開口部でのポテンシャル(N_{III} 個)と速度(N_{III} 個)の計($N_I + 2N_{III} + N_{II}$)個であるのに対して、(6), (7)式で得られる方程式の数も($N_I + N_{III}$) + ($N_{II} + N_{III}$)個であり、(6)式及び(7)式を連立させることにより、固定境界でのポテンシャル及び開口部でのポテンシャルと速度を求めることが可能である。

2.4 空気室の変動圧力

空気室内の空気の質量保存則及びエネルギー保存則は次式で表すことができる¹⁰⁾。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P_a V_a}{RT_a} \right) + \frac{dm_a}{dt} = 0 \quad (11)$$

$$P_a \frac{dV_a}{dt} + C_v \frac{d}{dt} \left(\frac{P_a V_a}{R} \right) + C_p T_j \frac{dm_a}{dt} = 0 \quad (12)$$

; P_a, V_a, T_a : 空気室内の圧力、容積、温度

$\frac{dm_a}{dt}$: 空気の質量流出率

T_j : 空気流出時には空気室内温度 T_a
空気流入時には大気温度 T_0

R, C_v, C_p : 空気の気体定数、定容、定圧比熱

(11)及び(12)式に含まれる質量流出率は、実機の場合はタービンの流量・圧力特性から与えることができるが、本論では簡単のためオリフィスで代用させることとすると、熱力学の理論から次式で求めることができる。

$$\frac{dm_a}{dt} = \pm \rho_j \varepsilon C_d C_s A_w \sqrt{2C_p |T_a - T_0|} \quad (13)$$

; 複合(\pm) : 空気流出時に+、流入時に-

ρ_j : 空気流出時は空気室内密度 ρ_a
空気流入時は大気密度 ρ_0

ε : ノズル比

C_d, C_s : 縮流係数、速度係数

定常周期運動を想定しているので、空気室内の状態量(P_a, T_a, V_a)は、次式に示すように、それぞれの平均値(P_0, T_0, V_0)を中心に周期的に変動していると考えることができる。

$$P_a = P_0 (1 - \Re(\hat{p} e^{-i\omega t})) \quad (14)$$

$$T_a = T_0 (1 - \Re(\hat{t} e^{-i\omega t})) \quad (15)$$

$$V_a = V_0 (1 - \Re(\hat{v} e^{-i\omega t})) \quad (16)$$

; P_0, T_0, V_0 : 大気圧、大気温度、空気室平均容積

$\hat{p}, \hat{t}, \hat{v}$: 圧力、温度、容積の変動複素振幅

(11)及び(12)式に(13)~(16)式を代入し、円周波数 ω で変動する基本周波数成分に着目すると、次式が得られる。

$$\hat{p} = -i \frac{\gamma \hat{v}}{-(\beta/\omega)(\gamma-1) + i} \quad (17)$$

; $\gamma (= C_p / C_v)$: 比熱比, $\beta = \beta_0 / \sqrt{|\hat{t}|}$,

$$\beta_0 = \alpha \varepsilon C_d C_s A_w \sqrt{2C_p T_0} / V_0 ,$$

$$\alpha = \int_0^\pi \sin(\xi) \sqrt{\sin(\xi)} d\xi / \pi$$

ここで、室内水位の場所的平均値 $\bar{\zeta}_m$ (複素振幅)を

$$\bar{\zeta}_m = \iint_{S_{Pm}} \zeta_m dx dy / A_{Wm} \quad (18)$$

; S_{Pm}, A_{Wm} : 空気室 m の水面及び水線面積と定義すると、(16)式から

$$\hat{v} = \left(\frac{A_w}{V_0} \right) \bar{\zeta}_m \zeta_0 \quad (19)$$

であるから、(17)式に(19)式を代入すると、空気室内の変動圧力と平均水位の関係を表す次式が得られる。

$$p_m = \frac{P_0 \hat{p}}{\rho g \zeta_a} = -i C_E \bar{\zeta}_m \quad (20)$$

$$; 1/C_E = \frac{\rho g}{P_0} \frac{V_0}{A_w} \left\{ \frac{-\beta_0}{\sqrt{|\hat{t}|} \omega} \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) + \frac{i}{\gamma} \right\} \quad (21)$$

(20)式における C_E は、空気室内の平均水位振幅と圧力振幅を関連付ける係数であり、本論では圧力係数と呼ぶ。なお、この係数は大澤らが実験的に求める⁷⁾とした係数と本質的に同等の係数である。

次に、 m 番目の空気室内の平均水面変位は、(1)式に示す速度ポテンシャルを用いると次式で表すことができる。

$$\bar{\zeta}_m = -k_0 \left({}_m\phi_0 + {}_m\phi_d + \sum_{n \neq m} p_n {}_m\phi_{rn} \right) - p_m (k_0 {}_m\phi_{rm} - 1) \quad (22)$$

$$; {}_m\phi_j = \iint_{S_{pm}} \phi_j ds / A_{wm}, \quad j = 0, d, rm$$

(20)式に(21)式を代入し整理すると、次式が得られる。

$$\left\{ (\bar{M}_{mm} + C_{EI}) + i(\bar{N}_{mm} + C_{ER}) + \sum_{n \neq m} (\bar{M}_{mn} + i\bar{N}_{mn}) \right\} p_m = \bar{F}_m \quad (23)$$

$$m = 1, N$$

$$; \bar{M}_{mn} = M_{mn} / (\rho A_{wm} / k_0)$$

$$= \begin{cases} \Re e(1 - k_0 {}_m\phi_{rm}) & ; m = n \\ \Re e(-k_0 {}_m\phi_{rn}) & ; m \neq n \end{cases} \quad (24)$$

$$\bar{N}_{mn} = N_{mn} / (\rho g A_{wm} / \omega) = -k_0 \ell m ({}_m\phi_{rn}) \quad (25)$$

$$\bar{F}_m = F_m / (\rho g A_{wm} \zeta_0) = k_0 ({}_m\phi_0 + {}_m\phi_d) \quad (26)$$

$$C_{ER} = -\Re e(1/C_E), \quad C_{EI} = \ell m (1/C_E) \quad (27)$$

(24)式及び(25)で表される M_{mn}, N_{mn} は、radiation wave の in-phase 成分、out-phase 成分であるが、表現の簡略化のためと等価浮体法的な考え方との対比から、本論では、 M_{mn}, N_{mn} をそれぞれ質量係数、減衰力係数と呼ぶ。また、(26)式で表される F_m は、空気室の空気塊に作用する上下方向の波力である。

(23)式は、空気室内の変動圧力に関する多元連立方程式であり、この式を解くことにより空気室内の圧力振幅を求めることができる。なお、圧力係数 C_E を求めるためには無次元変動温度の振幅 $|\hat{t}_m|$ を知る必要があるが、(11)式(12)式及び(14)式(15)式より、

$$|\hat{t}_m| = \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \left| \frac{P_m}{P_0} \right| \quad (28)$$

が得られ、(23)式、(27)式及び(28)式を連立させることにより空気室内の圧力振幅を求めることができる。

2.5 エネルギー変換効率

単位幅あたりの規則波の持つパワーは次式で求めることができる。

$$P_{in} = \rho g \zeta_0^2 \omega D(kh) / 4k \quad (29)$$

$$\text{ここに、} \quad D(kh) = 1 + 2kh / \sinh(2kh) \quad (30)$$

$$k = k_0 / \tanh(kh), \quad h : \text{水深} \quad (31)$$

一方、 m 番目空気室の圧力振幅 (p_m) 及び水位振幅 ($\bar{\zeta}_m$) が求めれば、空気室で変換される空気パワー (P_{out}) は次式で計算することができる。

$$P_{out} = \frac{\rho g A_{wm}}{T_w} \zeta_0^2 \int_0^{T_w} \Re e(p_m e^{-i\alpha t}) \Re e(i\omega \bar{\zeta}_m e^{-i\alpha t}) dt \quad \dots(32)$$

(32)式に(20)式を代入して整理すると次式が得られる。

$$P_{OUT} = -\frac{\rho g \zeta_0^2 A_{wm} \omega}{4} \left(\frac{1}{C_E} + \frac{1}{C_E^*} \right) |p_m|^2 \quad (33)$$

従って、 m 番目の空気室のエネルギー変換効率、

$A_{wm} = B_{Cm} l_{Cm}$; B_{Cm}, l_{Cm} : m 番目空気室の幅、奥行きを考慮すると、次式で定義することができる。

$$\eta_m = \frac{P_{out}}{P_{in} B_C} = \frac{2 C_{ER} k l_{Cm}}{D(kh)} |p_m|^2 \quad (34)$$

3. 水槽実験

3.1 実験方法

防波堤に組み込まれた空気室のエネルギー吸収特性を検討するために、Fig. 2 に示す状態で規則波中実験を行い、空気室内の圧力を計測した。模型は防波堤に2室の空気室を設置することを想定しており、両端に通常ケーソン模型を、中央に2つの波力発電ケーソン(空気室奥行き $L_c=0.28m$)を配した。通常ケーソン、波力発電ケーソン共、幅は 982mm である。水深は 1m とし、幅 8m の水槽の側壁に模型端部を接触させて配置し、波向きを変更する代わりに、模型の設置角度を変更した。

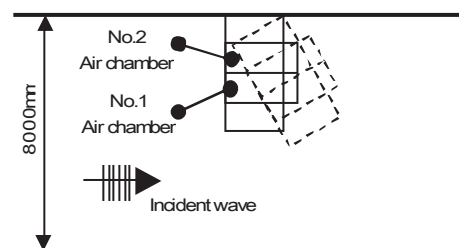


Fig.2 Model test arrangement of wave power absorber

3.2 実験結果及び理論計算結果

計測された空気室内圧力のフーリエ一次成分を入射波高の水頭で無次元化し、Fig.3 及び Fig.4 に示す。図において、横軸は無次元波長であり、凡例の Exp.は実験結果を、Cal.は理論計算結果を示している。また、P1 は水槽壁から遠い方の空気室(No.1 空気室)の圧力振幅を、P2 は水槽壁に近い方の空気室(No.2 空気室)の結果である。θ が 90 度(Fig.3)の場合は、各空気室圧力振幅の大小関係は波周期に依存して複雑に変化している。一方、θ が 120 度(Fig.4)の場合は、波長が短い時にはNo.2 空気室内の圧力振幅の方がNo.1 空気室に比べて大きく、波長が長くなると大小関係が逆転している。θ が 90 度及び 120 度の場合共、理論計算結果は実験結果の傾向を良く表している。

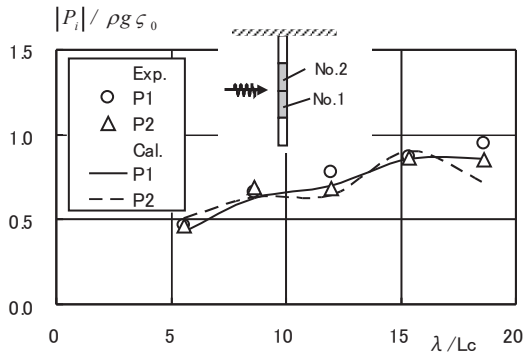


Fig.3 Pressure in air chambers (θ=90degree)

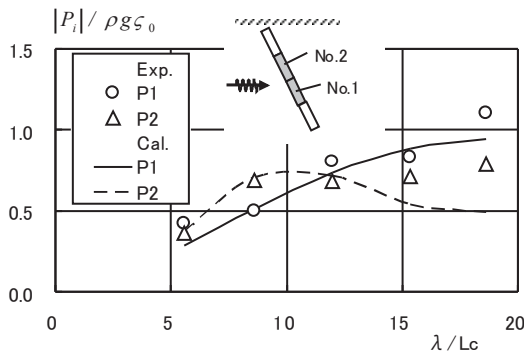


Fig.4 Pressure in air chambers (θ=120degree)

Fig.5 は、各空気室に作用する上下方向波力の振幅（理論計算結果）を示している。図から、θ が 120 度の場合には、各空気室に作用する波力の大小関係がそのまま各空気室の圧力振幅の大小関係に反映されているが、θ が 90 度の場合には必ずしも波力と空気室圧力に間に相関関係があるとは言えない。Fig.6 は、質量係数（理論計算結果）を示したもので、主要項である M11 と M22 は完全には一致しておらず、周波数によって微妙に異なっていることがわかる。また、連成流体力である M12 は周波数依存性が高く、また主要項に比べて十分有意な大きさである。θ が 90 度の場合に、各空気室に作用する波力の大小関係と各空気室圧力の大小関係が必ずしも一致しないのは、Fig.6 に示す連成流体力の寄与

が大きいためである。以上から、複数の空気室が防波堤に組み込まれている場合は、各空気室の相互干渉効果が無視できない場合があることがわかる。

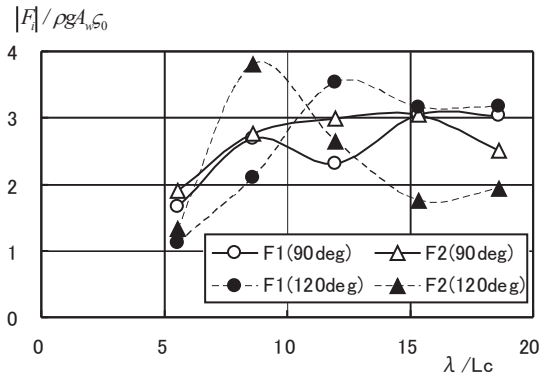


Fig.5 Amplitude of wave exciting forces on air chambers

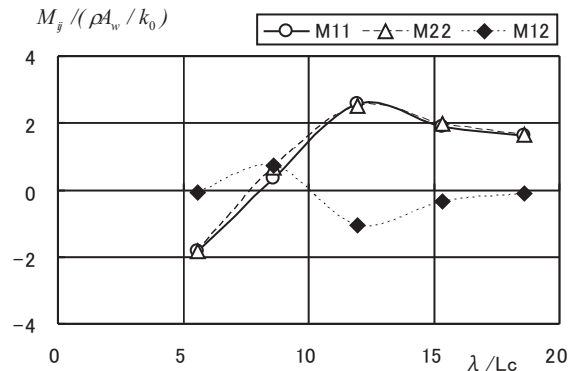


Fig.6 Mass coefficients of air chambers

4. 実海域実験

4.1 実海域実験機の概要

実験は、福島県南相馬市原町区にある東北電力原町火力発電所の南防波堤 (Fig.7) の先端付近に、Fig.8 示すような断面を持つ波力発電ケーソンを組み込んで行われた⁸⁾。

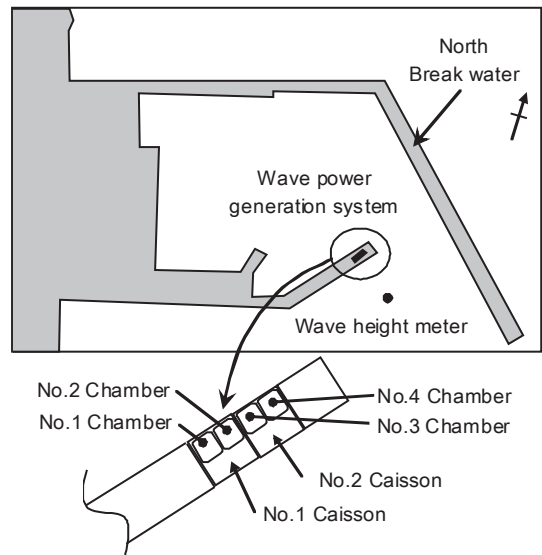


Fig.7 Location of wave power generation system

波力発電ケーソンは2函有り、1函に2つの空気室が組み込まれている。陸側の波力発電ケーソンを1号函、堤頭に近い方の波力発電ケーソンを2号函と呼ぶ。また、1号函にはNo.1とNo.2空気室が、2号函にはNo.3とNo.4空気室が組み込まれている。

東北電力方式の最大の特徴は、往復空気流を整流するために水弁と呼ばれる可動部の全く無い整流装置を装備しているところである。合計4つの空気室で得られた往復空気流は、正圧水弁及び負圧水弁で整流されて、各々正圧用及び負圧用集合ダクトに集約される。正負圧集合ダクトの各々の大気開放口には、タンデム型軸流空気タービンが設置されている。空気タービンの定格出力時の空気流量は43.5m³/s、空気圧力は7kPaである。搭載した発電機は、横軸かご型誘導発電機であり、単機出力としては国内最大級の130kWである。

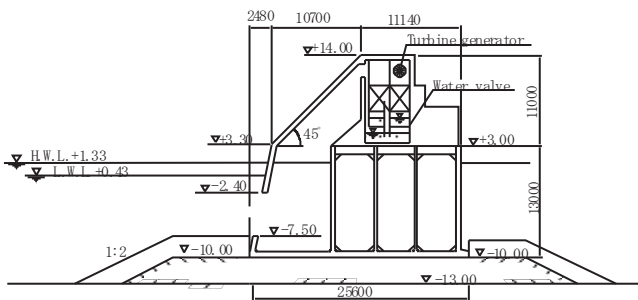


Fig.8 Cross section of air chamber

4.2 実験結果及び理論計算結果

実海域実験で計測された空気室内圧力の時系列を Fig.9 に示す。図の 1070 秒~1075 秒の範囲に着目すると、初めに圧力が大きくなる空気室はNo.4 空気室(P4)で、順次 No.3, No.2, No.1 の順に圧力が大きくなっている。

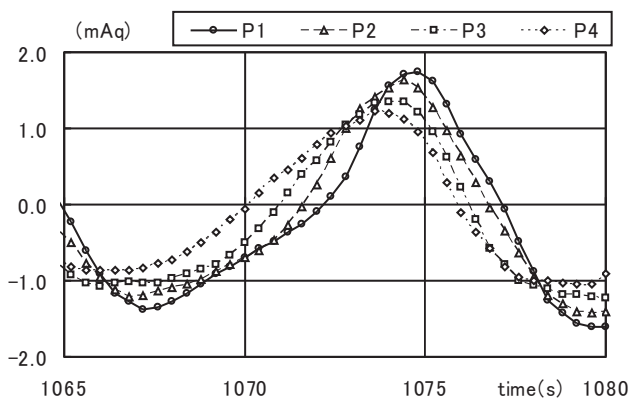


Fig.9 Time series of pressure in air chambers

また、圧力振幅は、P4<P3<P2<P1 となっている。波向きに関しては計測されていないが、ほとんどの波が Fig.7 に示す北防波堤 (図中右側の防波堤) 先端からの回折波であることが目視により確認されている。従って、波力発電装置への

波入射角度は 70 度程度と考えられ、これは波上側に位置する No.4 空気室の圧力が最初に大きくなっていることと符合する。計測された圧力波形は、スペクトル解析して有義値を求め、有義波高で無次元化して整理した。なお、波力発電装置への入射波高はケーソンから 200m 沖合いの位置で計測されている。Fig.10 に、4つの空気室圧力の有義値の平均値の無次元値を示す。図において、横軸は平均波周期である。Fig.10 では、入射波高の高さで整理し、有義波高が 0.5~0.8 m を○印で、0.8~1.0m を△印で、1.0~1.7m を□印で示したが、波高の差による影響は見られない。

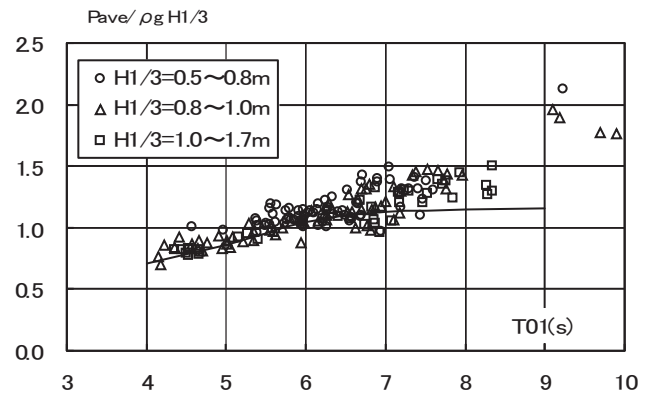


Fig.10 Significant value of pressure in air chambers

実線は、波力発電装置が設置されている南防波堤の長さとして、1号函のNo.2空気と2号函のNo.3空気室の計2室の空気室で構成されていると近似した場合の理論計算結果である。理論計算結果は、波周期が7秒以上では計測結果に比べて小さい傾向が見られるが、7秒以下ではバラついている計測結果の幅の中に入っている。

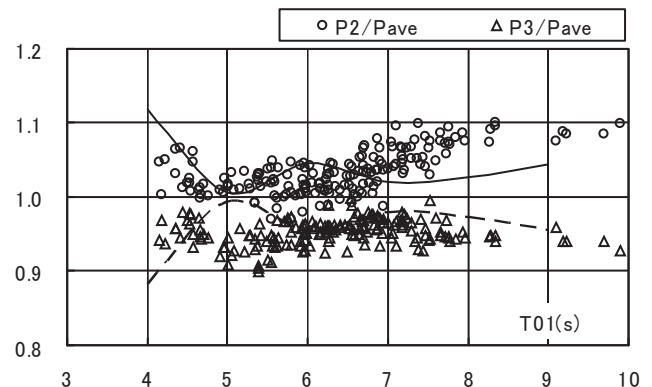


Fig.11 Air pressure in No.2 and No.3 air chamber

Fig.11 には、No.2 空気室及びNo.3 空気室圧力の有義値を、4 空気室の空気室圧力の有義値の平均値で無次元化し、横軸に波周期を取って示した。計測結果は、堤頭に近い No.3 空気室の圧力の方が、陸側の No.2 空気室の圧力に比べて低いことを示している。また、図中実線及び破線が理論計算結

果であり、実線が P2/Pave、破線が P3/Pave に対応している。理論計算結果は実験結果と同じ傾向を示しており、防波堤端部の影響を良く説明していると言える。

5. 防波堤端部の影響

防波堤端部の影響を検討するために、長さ 30 m の防波堤に、幅(Bc) 0.4m、奥行き(Lc)0.4m の空気室を防波堤端部から Yc の距離に組み込んだ場合の一次変換効率について理論計算により検討した。防波堤に組み込まれた空気室の一次変換効率を Fig.12 に示す。横軸は、防波堤端部から空気までの距離を入射波波長で無次元化した値(Y_c/λ)である。図から、 $Y_c/\lambda < 0.5$ の範囲では、波入射角度によらず、一次変換効率は防波堤先端から離れるほど高くなるのがわかる。さらに、 $\theta \geq 60$ 度では $Y_c/\lambda = 0.5$ 程度の時に一次変換効率が最大となっている。 $\theta = 45, 30$ 度の際は、防波堤端部からさらに離れた位置($Y_c/\lambda = 1 \sim 2$)で、一次変換効率が最大となっている。

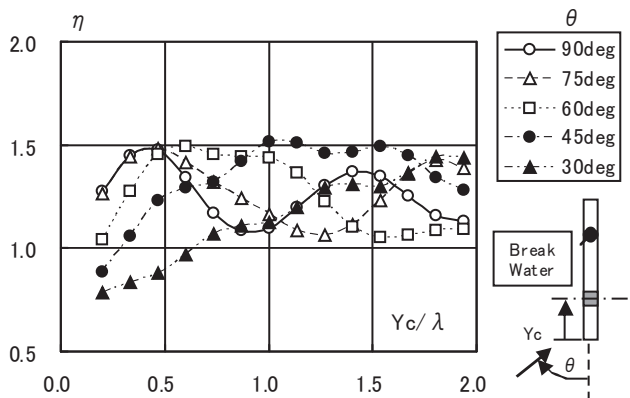


Fig.12 Efficiency of air chambers installed to breakwater

6. 結言

本論で得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 空気室での圧力水面条件及び空気の圧縮性を考慮した理論計算方法を示し水槽実験及び実海域での実験結果と対応する理論計算結果を比較したところ、理論計算結果は実験結果を良く説明しており、理論計算法の妥当性が検証された。
- (2) 従来、検討がほとんど無かった装置間の干渉効果をなどを含む 3 次元装置としての性能について評価した。
- (3) 複数の空気室が防波堤に組み込まれている場合、空気室間の相互干渉は無視できないオーダーである。
- (4) 防波堤端部付近に空気室を設置する場合、端部からの距離により一次変換効率は変化する。波入射角度が 60 度以上の場合は、防波堤端部から入射波波長の 0.5 倍程度離れた所に設置した場合、一次変換効率が最大となる。

謝 辞

本論に関して、大阪大学大学院工学研究科船舶海洋工学部門

内藤林教授のご助言を戴いたことに感謝致します。

参考文献

- 1) 前田久明他：Attenuator 型 OWC 波浪発電装置に関する研究，日本造船学会論文集 157 号，1985，pp.217-228.
- 2) 前田久明他：Attenuator 型 OWC 波浪発電装置に関する研究(第 2 報)，日本造船学会論文集，第 158 号，1985，pp.222-228.
- 3) 工藤君明：海明型波力発電装置の最適設計，日本造船学会論文集，第 156 号，1984，pp.245-254.
- 4) 木下健他：固定式振動水柱型波力発電装置に対する空気室内空気の圧縮性の影響について，日本造船学会論文集，第 157 号，1985，pp.211-216.
- 5) 宮崎武晃他：波浪発電出力向上のための空気流位相制御の基礎的研究(その 1)，関西造船協会誌，第 188 号，1983，pp.1-8.
- 6) 鷲尾幸久他：沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の発電出力，日本造船学会論文集，第 190 号，2001，pp.395-405.
- 7) 大澤弘敬他：沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の流体力学特性と発電出力特性，日本造船学会論文集，第 196 号，2004，pp.115-122.
- 8) K. Ueki *et al.* : Output of Electric Power from Pneumatic Wave Power Generation System with Water Valve Rectifier, Proc. of The 10th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol1, 2000, pp.399-404.
- 9) 中村彰一他：空気式波浪発電装置の特性に関する研究，第 7 回海洋工学シンポジウム，1984,pp.83-91.
- 10) 小島朗史他：波力発電ケーソンの空気出力に関する理論および実験，第 30 回海岸工学講演会論文集，1983,pp.638-642.
- 11) 前田久明他：波浪発電に関する基礎的研究(その 5)，日本造船学会論文集 152 号，1982，pp.250-255.
- 12) Falnes, J. : Ocean Waves and Oscillating Systems, 2002, Cambridge University Press, pp.225-258