

固定式波力発電における作用波浪と円筒内空気圧

長崎 作 治*

1. 要 旨

海洋の孤点に建設される海洋構造物の電源として波浪エネルギーを利用することは誰しも考えることである。波力発電として現在実際に使用されているものには、灯浮標用の電源に中央パイプ型、振子型、それに東京湾入口あしか島灯台の電源用として孤岩に取付けた固定式がある。

灯浮標における最初の波力発電は波による標体の横揺れを利用して発電させようとする振子型であった。発電出力からはかなりの成果があったが、標体が強制的に大きく揺れるので、揺れないよう原理を全く別にした波浪による標体の上下動に伴う空気動きでタービンを回転させ、同軸の発電機により発電する方法、つまり中央パイプ型波力発電方式へと改良した。

1966年12月久里浜沖海獺島灯標の基部に発電室を設け、海中から直径80cmのパイプを引き発電室の手前でパイプの直径を絞って空気を加速し、これによってこれまで1700カンデラであった光力を6000カンデラと3倍以上の光力(固定発電方式)に改造した。しかしこれらの発電機は今の所いづれも100W以下でしかない。波浪エネルギーをより有効に利用するには、固定式の場合どのように波力エネルギーをパイプに導入するかが問題となる。それには作用する波浪と、パイプの形状、パイプ取入口の深さ(位置)、絞りなどを変え、内部空気圧を測定することによって求まる。

本文は水槽実験からその最適条件を検討したのでその実験結果を述べる。なお空気圧—空気流量—電力量については今後の問題とし、作用波浪と最も効率のよいパイプ形状、パイプ水深との関係をモデル実験から求めたものである。

2. 固定式波力発電の実施2例

あしか島灯台の場合は波高1m周期8secを設計波として図-1に示されるように、直径80cm、長さ4.3mの鋼管(パイプ)をLWL上50cm位置にパイプ開口部を据え、LWL上2.5m位置で地盤に沿い横方向に絞

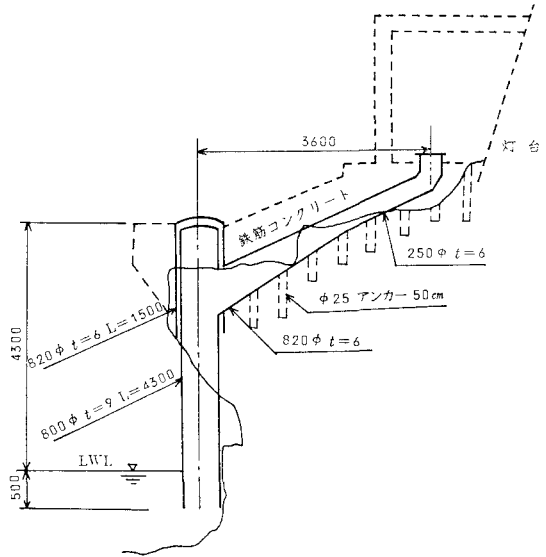


図-1 あしか島

り直径82~25cm、長さ3.6mの鋼管を地盤に埋め込み固定し、発電機室に導いた。しかしパイプ位置を台風時の風下側に位置させたため年間を通し、十分電力をうることができずバッテリーで不足分をまかなうこととなった。1971年5月御前崎港沖2.3km、水深15mに波浪観測塔が設置された。この場合はLWL下1mに開口部を位置づけ、外径60cm、長さ3mのポリエチレンパイプを外径30cm、長さ8mのパイプに導き、LWL上10m位置にTG-1型波力発電装置をおいた。観測塔の常用消費電力は5.1Wで十分電力が得られた。

3. ブイ(浮体)による中央パイプ型波力発電

左右動を避けるため中央パイプ型として開発されたこの形式はブイ(浮体)の標体中央に下方が海水に対して開き、上方は浮体上に開口したパイプを有している。浮体が波によって上下動すると中央パイプ内の水位と浮体外側水位に差が生じ相対運動をする。その結果パイプ内の水面がピストンとして働き、内部の空気を押し引きすることとなる。この空気圧の変化は音響信号として以

* 正会員 東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科

前から利用されていたが、これに案内弁を介して空気流を発電機と直結した空気タービンに一定方向の流れとして与え発電させる装置とした。中央パイプ内外水位の相対運動は浮体の浮力による上下振動とパイプ内の海水U字管振動よりなる2つの振動系の結合と考えた。浮力による自然振動周期 T は式(1)で与えられる。

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(W_1 + W_2)/g}{S \times \rho}} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 S : 喫水面積 (m²)

ρ : 海水の単位体積重量 (1.03 t/m³)

W_1 : 浮体重量 (kg)

W_2 : パイプ内の平均海水重量 (kg)

g : 重力の加速度 (9.8 m/sec²)

パイプ中の海水の振動自然周期 T_2 はパイプの長さ l と関係し式(2)に近似する。

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \dots\dots\dots(2)$$

これは $2l$ なる長さのU字管内の水の自然周期に相当しU字管の一方が無限大の管径と仮定したものである。したがって管外の海水の周期が自然周期と同一周期の場合大きい相対運動が得られる。 T_1 を最小有効周期、 T_2 を最大有効周期と考え、これより浮体の相対運動周期を求めてきた。しかしこの式には仮定がふくまれているので実験から決定している。中央パイプ内外の水位の相対運動については次のような実験結果がある。内径 7.5 cm, 長さ 0.8, 1.5, 2.5 m の3種類のビニールパイプに浮体と重錘をつけ水面に直立させ、波浪によるパイプ内水位の変化を測定した。その結果、パイプ内水位は波高の2~3倍も相対的に上下運動し、最大有効周期は式(2)とよく一致した。よって設置海域の利用波浪の最多周期から浮体中央パイプの長さ l を設計している。 $T_2=2.5$ sec の場合 $l=1.5$ m 以上あればよい。

また中央パイプの面積 (205, 292, 410, 415, 590 cm²), 形状を変え、ノズル比を 1/211 とし、海上保安庁灯浮標 L-1 型標体の 1/3 模型に取付け、波高 8~20 cm, 周期 1.5~3.0 sec の波浪に対し、中央パイプないの空気圧をマノメーターで測定した。これより最大圧は式(1)による周期より短い 1.75 sec に示された。なおパイプ面積が大きくなるほど空気圧も大きくなるが、ある点を過ぎると一定となることがわかった。この場合直径 292 cm が最も効果的であった。一般に空気圧はノズルの絞り比つまり中央パイプ内面積とノズル面積との比に関係する。ノズル面積が大きくなると当然空気圧は減小する。実験からノズル比 1/200 付近に最大値が求まりそれより灯浮標の場合 1/200 としてきた。アメリカ合衆国海軍大学校の McCormick によると、波力発電ブイでブイ質量と中心パイプ半径とを変えてみた結果、最大効率 はブイ質量を大きく、中心パイプ直径を大きく、その長さを短くと

った場合であったという。したがって中心パイプの長さはブイの喫水深と等しくなるのでブイより下方につき出ることはない。図-2 の記号による波浪エネルギーの変換式は次のとおりである。

(1) 空気流

タービンを通過する空気流の式は (a) 不整エネルギー式 (損失項をもつ), (b) 連続した非圧縮式として, (c) 内部自由表面の運動式となる。

$$\zeta = \bar{\eta}_1 - Z_0 \dots\dots\dots(3)$$

タービンに有効なパワーは式(4)で示される。

$$\frac{dW}{dt} = \dot{W} = \rho_a g \pi r_1^2 \rho \left\{ \frac{P_1}{r_a} - \frac{1}{2g} \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right) \zeta^2 - \sum_i \delta_i \zeta \left[\zeta - \frac{1}{g} \left[h + L_t \frac{A_1}{A_2} - \zeta \right] \zeta \right] \right\} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 P_1 内側自由表面上の空気圧

δ_i : 式中の特殊損失に対する損失係数で壁の剪断応力, 収縮による。

ρ_a : 空気質量密度

(2) 上下運動の式

式(3)の相対軸に対する式を求めるには次の関係を結びつけなければならない。

- a) ブイの上下運動式
- b) 波浪による内側自由一表面運動式

合計式は

$$\rho = \frac{F_0}{C} \left\{ \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_N^2} \right)^2 + \left(2 \frac{\Delta\omega}{\omega_N} \right)^2 \right\}^{-1/2} \cos(\omega t + r - \delta) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 $F_0 = (A^2 + B^2)^{1/2}$

$$A = -\frac{\pi \rho_w H g}{K} (1 - e^{-K L_2}) [R J_1(KR) - r_1 J(Kr_1)] - \frac{H g}{r_1} \left(m + m_w - \frac{C}{\omega^2} \right) e^{-K L_1} J_1(Kr_1)$$

$$B = -\frac{H g b}{r_1 \omega} e^{-K L_1} J_1(Kr_1)$$

限界衝撃比

$$\Delta = \frac{b}{2} [c(m + m_w - \rho_w \pi r_1^2 L_1)]^{-1/2} \dots\dots\dots(6)$$

しかし位相角と相対自然円振動は

$$\sigma = \tan^{-1} \left\{ \frac{2 \Delta \omega / \omega_N}{1 - (\omega / \omega_N)^2} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

また

$$\omega_N = \left\{ \frac{c}{m + m_w - \rho_w \pi r_1^2 L_1} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots(8)$$

式中のブイの付加質量は

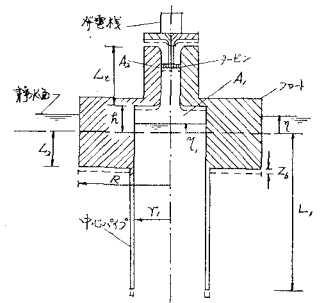


図-2 波力発電ブイ

$$m_w = 2.36\rho_w\pi(R-r_1)^3 \dots\dots\dots(9)$$

最終的に波浪衝撃と静水静的回復係数は特に

$$b = [4c(m+m_w) - 16\pi^2 f_a^2 (m+m_w)^2]^{1/2} \dots\dots(10)$$

また

$$c = \rho_w g \pi (R^2 - r_1^2) \dots\dots\dots(11)$$

ここで f_a は上下運動の測定された衝撃自然振動である。

4. 作用波浪と各種モデルパイプ内空気圧 (実験 1)

各種モデルパイプ (縮尺 1/17) を水深 60 cm の 2 次元水槽に固定し、パイプ開口部位置を変えノズル比 1/150 (d_1) と 1/200 (d_2) について 図-3 に示される要領で、各種モデルパイプ内の作用波浪による空気圧をピニールパイプを通してマンメーターとトランスジューサーに伝え、空気圧の波形をアンプで増幅し記録し、これより波頂と波谷について測定した。なお使用したパイプは内径 11.4 cm を 2 本、内径 3.35 cm, 5.4 cm, 9.35 cm, 11.4 cm, 14.4 cm, 19 cm, 24 cm, 31 cm を 1 本ずつ、計 10 本のストレートパイプと下部内径 9.35 cm, 11.4 cm, 14.4 cm, 19 cm, 24 cm, 31 cm を上部内径 5.4 cm に絞った 6 本の絞り付パイプである。

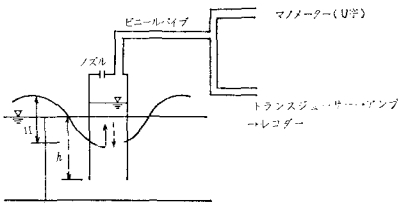


図-3 空気圧測定

(1) ストレートパイプ開口面位置 (パイプ水深) と作用波高の大小による空気圧

ストレートパイプの水深を 55 cm から 5 cm ごと静水面下 5 cm まで 11 か所の空気圧を波高 4 cm (68 cm), 周期 1.5 sec (6 sec) と波高 12 cm (2 m) について測定した。

波高 12 cm の場合 図-4 に示されるようにパイプ水深が 5 cm のとき最大圧となり、水深が深くなると空気圧は減少し、水深 50 cm で最小となっている。このことは一般に作用波高が高い場合水分子速度からも予想されるが、底面近く

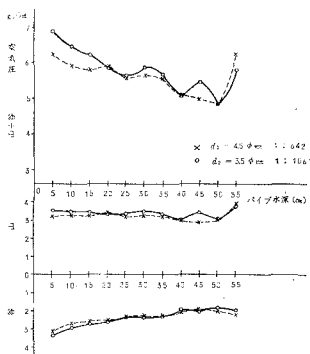


図-4 ϕ 11.4 cm ストレートパイプ水深位置をかえた場合の空気圧 ($H=12$ cm, $T=1.5$ sec)

が上昇している。この現象は予想外であり底流の影響による空気圧の増加と判断した。作用波高の小さい時 図-5 に示されるようにパイプ開口面が深くなるほど静水圧の影響を受け空気圧は上昇している。

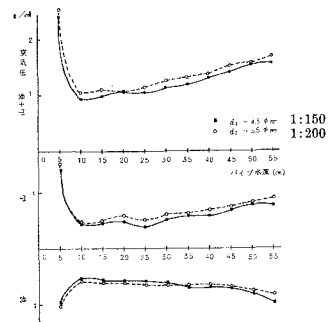


図-5 ϕ 11.4 cm ストレートパイプ水深位置をかえた場合の空気圧 ($H=4$ cm, $T=1.5$ sec)

以上から現場で 60 cm 程度の小さい

波高を利用する場合は、開口面位置を十分深くし、2 m 前後の波高を利用する場合は、開口面位置を浅くした方が空気圧は大きくなる。なお作用波高が小さい場合、静水面付近は空気圧が割合大きく、水深 8.5 cm 付近 (現場水深 1.45 m) で最小を示した。よってパイプ開口面位置を水深 8.5 cm (1.45 m) におき、パイプ直径の大小、ストレート、絞り付きが空気圧にどのように影響するものか実験した。

(2) パイプ形状 (ストレート, 絞り付), パイプの大小 (直径), そして作用波高の大小による空気圧

パイプの形状はストレートと絞り付きの 2 種類、パイプの直径はストレートが 8 種類、絞り付は 6 種類とその大きさをちがえた。

パイプの形状が空気圧に与える影響は 図-6 に示されるように、作用波高 4 cm (68 cm) の場合、ノズル比 $d_1=1/150$, $d_2=1/200$ ともにストレートパイプは絞り付パイプよりも空気圧は大きい、パイプの直径が大きくなっても空気圧はかわらない。むしろパイプが大きくなると

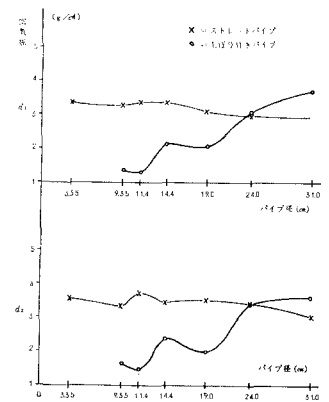


図-6 パイプの形状 (ストレートと絞り付) と空気圧 (波浪 $H=4$ cm, $T=1.5$ sec)

わずかであるが空気圧は減少する傾向がみられる。絞り付パイプの場合は、パイプの直径が大きくなるほど空気圧は大きくなり、パイプ直径 31 cm (5.3 m) が最大空気圧を示した。

作用波高が 8 cm (1.4 m), 10 cm (1.7 m), 12 cm の場合、波高 4 cm (68 cm) のときは逆に絞り付パイプの空気圧はストレートパイプの空気圧を上回り、その最大値は d_1, d_2 とも直径 14.4 cm (2.5 m) に示された。

この傾向は周期 2.5 sec (10 sec) でも同様である。

以上からパイプ形状は波高が小さいとき、つまり現場波高 60 cm 以下を対象とする設計ではストレートパイプが効果的であるが、波高が大きい場合は絞り付パイプの方が同一直径のストレートパイプより空気圧は約 1.5 倍も大きいので海洋では絞り付パイプとした方がよい。

(3) 作用波浪 (波高, 周期) と空気圧

a) 波 高

波力発電に最も効果的な波浪を知ることは必要である。波高, 周期と空気圧との関係は $T=1.5 \text{ sec}$ (6 sec), 2.5 sec (10 sec) とも波高が大きくなると空気圧も増加する。ストレートパイプはパイプの直径の大小にかかわらず波高が高くなると空気圧も増加するが絞り付パイプでは波高 10 cm (1.7 m) の方が波高 12 cm (2.0 m) よりも空気圧は上回り, パイプ直径 14.4 cm (2.5 m) に最大値が示された。

b) 周 期

ストレートパイプ, 絞り付パイプともに周期の短い波浪の方が空気圧は大きい。たとえば波高 10 cm (1.7 m), 周期 2.5 sec (10 sec) の空気圧よりも波高 8 cm (1.4 m), 周期 1.5 sec (6 sec) の空気圧の方が大きい。

(4) ノズル比

一般に空気圧はノズルの絞り比, つまりパイプの内面積とノズルの面積比に関係する。ノズル比 $d_1=1:150$, $d_2=1:200$ について今回は空気圧を測定したが $d_2=1:200$ の方が明らかに上回った。

(5) 推 選

波高 2 m 程度の常時作用する波浪を対象とした固定式 (パイプ) 波力発電で効率のよい電力を得るには絞り付パイプを使用し, パイプ開口部を低潮面下 1 m 付近におくことが望ましい。

5. 現場波高 1 m 以下の小波高による円筒内空気圧 (実験 2)

モデルの縮尺を大きくとり, 絞りを付けない単一形状の円筒 (パイプ) で円筒水深, ノズル比を変え, 現場波高 1 m 以下の小波高による円筒内波高, 空気圧を測定した。

(1) 実験方法と一部測定値

a) 実験条件

固定式波力発電の場合は構造物の耐用年数内に作用する最大波高に構造物が耐えられることと, 最小の波高に対しても必要電力が得られるように設計しなければならない。よって現場条件を 表-1 のごとく設定し, 縮尺 1/10 で実験した。

b) モデル

モデルは 図-7 に示されるように内径 24 cm (厚さ 5 mm), 長さ 1 m の透明プラスチック製で円筒ひずみ計

表-1 実験条件

| 項 目 | 現場条件 | 縮尺 | 実験条件 | |
|---------|-------------|--------------------|---------------|-------------------|
| 水 深 (h) | 7 m | 1/10 | 70 cm | |
| 波 浪 | 波 高 (H) | 20, 50, 100 cm | 1/10 | 2, 5, 10 cm |
| | 周 期 (T) | 2.5, 7.5, 12.6 sec | $1/\sqrt{10}$ | 0.8, 2.4, 4.0 sec |
| モデル | 直径 (内径) | 2.4 m | 1/10 | 24 cm |
| | 開口部の水面からの深さ | 50 cm, 3 m, 6 m | 1/10 | 5, 30, 60 cm |

の取付口を端から 25 cm, 50 cm 位置に 2 か所設け円筒下端開口部の静水面からの位置 (円筒水深) を 5 cm, 30 cm, 60 cm と変え設置位置別の空気圧を測定する際, ひずみ計が水面下に入らないようにした。

なお, 蓋には 1/200 と 1/2 000 のノズルをそれぞれ用意した。

なおノズル 1 とは上蓋をつけない状態, ノズル 0 とはノズルを 2 か所とも閉塞し, 完全に蓋で密閉した状態を示す。

c) 実験方法とノズル比 1/2 000 との測定値

表-2 の実験変数に示されるように, ノズル (0, 1/2 000, 1/200, 1) 位置を常に静水面上 30 cm とし, 作用波高 (2 cm, 5 cm, 10 cm), 周期 (0.8 sec, 2.4 sec, 4.0 sec), 円筒開口部位置 (静水面下 -5 cm, -30 cm, -60 cm) を変え, 水深 70 cm で 108 ケースについて円筒内の空気圧, 波高, 波形ならびに水分子の動き (過マンガン酸カリウムを用い, 8 mm 写映機におさめた) を測定した。円筒内空気圧測定には隣青銅板にストレンゲージをはり空気圧とひずみの大きさを前以てキャリブレーションしておき, 波浪の上下動によるストレンの大きさをオシログラフに記録し, キャリブレーション図から空気圧を読みとった。それにはひずみ計を静水面上の所定位置に取付け, プリヂボックス, 増幅器を介しレコーダーに記録した。なおキャリブレーションの方法はひずみ

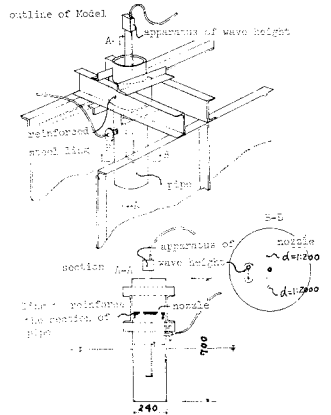


図-7 円筒モデル (単位 mm)

表-2 実験変数

| ノズル比 | 水 深 (cm) | 円筒開口部の水面からの深さ (cm) | 作用波浪 | |
|-----------|----------|--------------------|----------|-----------|
| | | | 波 高 (cm) | 周 期 (Sec) |
| 0 (close) | 70 | 5 | 2 | 0.8 |
| 1/2000 | | 30 | 5 | 2.4 |
| 1/200 | | 60 | 10 | 4.0 |
| 1 (open) | | | | |

表-3 実験条件と円筒内測定空気圧 (水深 70 cm)

| ノズル比 | 円筒底面 位置SWLF cm | 周 期 | | 波 長 | | 計画波高 H_0 cm | 前面波高 H_2 cm | 側面波高 H_1 cm | 円筒内波高 H_4 cm | 空 気 圧 P g/cm ² |
|--------|----------------------|--------|--------|--------|------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| | | T sec | | L cm | | | | | | |
| | | 計 画 | 実 測 | 計 算 | 実 測 | | | | | |
| 1/200 | 5 | 0.8 | 0.80 | 99.8 | 104 | 2 | 2.0 | 2.3 | | 0.7 |
| | | 2.4 | 2.39 | 577.3 | 685 | | 2.3 | 2.4 | | 0.6 |
| | | 4.0 | 3.93 | 1017.1 | 1190 | | 2.4 | 3.0 | | 0.5 |
| | | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 112 | 5 | 4.8 | 7.4 | 1.8 | 2.9 |
| | | 2.4 | 2.46 | 577.3 | 712 | | 7.2 | 8.0 | 5.8 | 2.3 |
| | | 4.0 | 4.06 | 1017.1 | 1200 | | 8.8 | 8.6 | 7.2 | 2.3 |
| | | 0.8 | 0.84 | 99.8 | 103 | 10 | 11.9 | 14.0 | 2.8 | 5.5 |
| | | 2.4 | 2.48 | 577.3 | 685 | | 10.4 | 12.0 | 8.8 | 5.8 |
| | | 4.0 | 3.92 | 1017.1 | 1180 | | 13.2 | 12.1 | 9.8 | 6.8 |
| | 0.8 | 0.80 | 99.8 | 105 | 2 | 2.2 | 2.5 | | 0 | |
| | 2.4 | 2.41 | 577.3 | 665 | | 2.6 | 2.7 | | 0.9 | |
| | 4.0 | 3.92 | 1017.1 | 1180 | | 2.6 | 2.4 | | 0.4 | |
| | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 105 | 5 | 4.2 | 7.6 | 0.6 | 0.1 | |
| | 2.4 | 2.45 | 577.3 | 674 | | 5.8 | 7.2 | 5.2 | 2.5 | |
| | 4.0 | 4.10 | 1017.1 | 1220 | | 8.8 | 9.4 | 6.6 | 2.3 | |
| | 0.8 | 0.82 | 99.8 | 120 | 10 | 12.6 | 17.6 | 0.6 | 0.9 | |
| | 2.4 | 2.41 | 577.3 | 668 | | 11.6 | 11.0 | 8.6 | 5.8 | |
| | 4.0 | 4.05 | 1017.1 | 1180 | | 12.0 | 12.6 | 10.0 | 4.2 | |
| | 0.8 | 0.81 | 99.8 | 100 | 2 | 1.9 | 2.1 | | 0 | |
| | 2.4 | 2.36 | 577.3 | 676 | | 2.3 | 2.3 | | 1.0 | |
| | 4.0 | 4.06 | 1017.1 | 1219 | | 2.4 | 2.3 | | 0.6 | |
| | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 105 | 5 | 5.6 | 7.0 | 0.2 | 0 | |
| | 2.4 | 2.39 | 577.3 | 675 | | 6.2 | 6.2 | 5.8 | 3.1 | |
| | 4.0 | 4.08 | 1017.1 | 1229 | | 8.6 | 8.4 | 8.0 | 2.1 | |
| 0.8 | 0.84 | 99.8 | 118 | 10 | 12.4 | 16.2 | 0.2 | 0 | | |
| 2.4 | 2.45 | 577.3 | 660 | | 8.6 | 7.8 | 9.8 | 5.7 | | |
| 4.0 | 3.99 | 1017.1 | 1223 | | 12.8 | 12.8 | 10.8 | 4.7 | | |
| 1/2000 | 5 | 0.8 | 0.81 | 99.8 | 99 | 2 | 2.2 | 3.1 | 0.6 | 0.8 |
| | | 2.4 | 2.36 | 577.3 | 678 | | 2.3 | 2.4 | 1.3 | 2.3 |
| | | 4.0 | 4.06 | 1017.1 | 1235 | | 2.3 | 2.4 | 1.2 | 2.0 |
| | | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 95 | 5 | 4.2 | 7.2 | 1.6 | 2.1 |
| | | 2.4 | 2.41 | 577.3 | 670 | | 4.6 | 5.2 | 1.4 | 5.4 |
| | | 4.0 | 4.05 | 1017.1 | 1155 | | 6.2 | 8.4 | 2.0 | 7.1 |
| | | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 97 | 10 | 8.0 | 15.0 | 3.0 | 5.6 |
| | | 2.4 | 2.41 | 577.3 | 640 | | 8.0 | 10.8 | 2.0 | 9.1 |
| | | 4.0 | 3.97 | 1017.1 | 1160 | | 8.2 | 11.6 | 2.6 | 9.4 |
| | 0.8 | 0.81 | 99.8 | 101 | 2 | 3.2 | 2.2 | 0 | 0.2 | |
| | 2.4 | 2.41 | 577.3 | 650 | | 2.7 | 2.6 | 0.2 | 2.1 | |
| | 4.0 | 4.05 | 1017.1 | 1224 | | 2.3 | 2.1 | 0.6 | 2.0 | |
| | 0.8 | 0.80 | 99.8 | 107 | 5 | 5.2 | 6.8 | 0 | 0.6 | |
| | 2.4 | 2.42 | 577.3 | 632 | | 4.0 | 5.0 | 0.6 | 4.5 | |
| | 4.0 | 4.05 | 1017.1 | 1184 | | 6.0 | 7.2 | 1.6 | 6.4 | |
| | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 84 | 10 | 11.2 | 18.0 | 0 | 2.3 | |
| | 2.4 | 2.39 | 577.3 | 665 | | 8.0 | 9.2 | 1.2 | 7.9 | |
| | 4.0 | 3.96 | 1017.1 | 1175 | | 8.8 | 11.2 | 2.0 | 10.0 | |
| | 0.8 | 0.83 | 99.8 | 100 | 2 | 1.8 | 2.3 | 0 | 0 | |
| | 2.4 | 2.40 | 577.3 | 685 | | 2.7 | 2.5 | 0.3 | 1.6 | |
| | 4.0 | 4.12 | 1017.1 | 1220 | | 2.2 | 2.2 | 0.6 | 1.9 | |
| | 0.8 | 0.82 | 99.8 | 90 | 5 | 3.4 | 6.6 | 0 | 0.2 | |
| | 2.4 | 2.42 | 577.3 | 675 | | 4.0 | 5.6 | 0.8 | 4.5 | |
| | 4.0 | 4.02 | 1017.1 | 1147 | | 6.0 | 8.8 | 1.2 | 6.9 | |
| 0.8 | 0.83 | 99.8 | 95 | 10 | 9.2 | 15.4 | 0.6 | 1.5 | | |
| 2.4 | 2.40 | 577.3 | 682 | | 8.2 | 10.2 | 1.4 | 7.5 | | |
| 4.0 | 3.95 | 1017.1 | 1164 | | 7.2 | 10.8 | 1.8 | 8.4 | | |

計をはった隣青銅円盤を、U字管にゴム管を介して取付け、他端から空気を吹き込みU字管内の水頭差とひずみの大きさを記録しキャリブレーション表を作成した。また波高計は円筒側面(側面波高 H_1)、円筒より 64cm 前面(前面波高 H_2)、造波板より 10m (入射波高 H_3) と円筒内(円筒内波高 H_4) とに計 4 台設置した。表-2 の実験変数を組合せた 108 ケースのうちノズル比 1/200 と 1/2 000 の波高と空気圧の測定値を表-3 に示す。

(1) 実験考察

a) ノズル比 1/200 の傾向

① 円筒水深位置と関係なく、作用波高が大きいほど円筒内空気圧も大きい。

② 円筒水深と関係なく、作用周期が大きいほど円筒内波高は大きくなるが空気圧がそれに正比例するとはいえない。

③ (i) 円筒水深 5cm の場合は作用周期と関係なく、波高が大きくなると空気圧も大きくなる。

(ii) 円筒水深 30cm の場合は周期、波高が小さいほど空気圧は小さく、周期、波高が大きいほど空気圧は大きい。

(iii) 水深 60cm の場合も (ii) と同様である。

b) ノズル比 1/2 000 の傾向

① 波高と関係なく、周期が大きくなると空気圧は比例して大きくなる。

② 周期が同じ場合、波高が大きくなると空気圧は大きくなる。

③ 円筒水深別による空気圧の傾向はない。

④ 同一波高の場合、周期が大きくなると円筒内波高も大きくなりそれに正比例して空気圧も大きくなる。な

お円筒水深 5cm の場合、円筒内波高にばらつきがみられる。

c) ノズル比 0 (密閉の場合)

① 波高が大きくなるほど空気圧は大となる。

② 周期が大きくなるほど空気圧は大となる。

③ 円筒内波高はほとんど 0 に近い。

④ 円筒水深別の影響はあまりない。

d) ノズル比 1 (開放の場合)

円筒水深 5, 30, 60cm とも空気圧は 0 である。

e) 円筒水深別 H_1/T と P

① 最大空気圧 10g/cm^3 は円筒水深 30cm, ノズル比 1/2 000 と 0 の $H_1/T=3$ に生じた。

② H_1/T が大きくなると空気圧は小さくなる。

f) 波浪周期別 H_1 と P

① 最大空気圧 10g/cm^2 は周期 2.4sec, 側面波高 7.2cm と周期 4.0sec 側面波高 11.2cm に生じた。

② 空気圧 5g/cm^2 以上の出現率から、作用波高別効果をあえて順序づけると 2, 5, 10cm と大きくなるほど効率が良い。

③ 周期別では 0.8sec, 2.4sec, 4.0sec と周期の長いほど効率が良い。

(3) 推 選

ノズル比 1/2 000, 円筒現場水深 3m 程度、波高、周期ともなるべく大きいか所を選定することが望ましい。

参 考 文 献

- 1) Michael E. McCormic: A Parametric Study of a Wave-Energy Conversion Buoy.