

II-21 防波施設に組み込む固定式波力発電装置の研究 ——空気圧利用の場合——

室蘭工業大学 正 員 近藤俊郎
 室蘭工業大学 正 員 ○谷野賢二
 室蘭工業大学 渡美雅裕
 室蘭工業大学 山田 満

1. ま え が き

近年、エネルギー不足が深刻さを増すなか、新しいエネルギー資源の開発が脚光を浴びるようになってきた。従来より、石油にかわるエネルギーとして、原子力による発電が実用化されてきた。原子力発電は高速増殖炉の開発の進展に供なって、天然ウランの有効利用が可能となり、その将来性が期待されている。しかし、その安全性、放射性廃棄物の永久処理等大きな問題が未解決であり、大規模発電には至っていない。

一方、無公害な自然のエネルギーを利用する発電方式が注目されつつある。いわゆる「クリーン・エネルギー」と呼ばれるものである。これらエネルギーの主なものとしては、(1)太陽熱、(2)地熱、(3)風力、(4)海洋エネルギーなどである。このうち(4)では、その利用形態で分類すると(イ)温度差、(ロ)海流、(ハ)潮汐、(ニ)波力などである。これらの考え方は種々紹介されている¹⁾。(ハ)については、フランスのサン・マロ湾に造られたフランス潮汐発電所が稼働中であり年間5億4400KW時といわれている。(ニ)は、波力を空気に変換して空気タービンの動力を得る、小型の空気タービン式波力発電機が我が国で初めて実用に供され、海上保安庁で現在約600台の実用例があるといわれている²⁾。最近では、海洋科学技術センターが最大200KWの能力を有する大型波力発電船「海明」によって山形県由良港沖で試験していることは周知のところである。また、関西電力総合技術研究所では「波流発電」方式の基礎的構想を固め、実用性の成否を判断するための模型実験に入るといわれている(53.12.15付電気新聞)。

筆者らも波力による発電方式に着目し、防波施設に組み込む固定式の消(防)波型波力発電について、基礎的な研究を数年前から行なってきた。本文は、空気圧を利用する方式について、防波施設に組み込む場合の基礎的な実験を行なった結果の一部をまとめたものである。

2. 消(防)波型波力発電の基本的発想

四方と海に囲まれた我が国は3200Kmの長い海岸線を有し、この海岸線に襲撃する波浪のエネルギーの年間総量は10⁶ MWといわれている³⁾。このような波浪から海浜を保護し、泊地を作るために要する防波堤や海岸堤防はきわめて多数、大延長にわたる。現在、こうした防波施設は単に波浪エネルギーを反射、あるいは減殺したりする役割を果たすだけであるが、さらに、波浪エネルギーを有効に利用できるように、エネルギー変換装置としての役割をもたせることはできないか、と考えたのが本型式である。発電と消波の兼用はるで示す(c)、(d)も浮防波堤の役割をもたすことができるが、本型式は固定した消(防)波施設を対象としている点に違いがある。また、防波施設が発電所の一部となるので建設費が比較的安価となり、陸上部と近い為に維持、管理も容易となると考えられる。

3. 波力発電の主要型式⁴⁾

波力発電に関する研究は古くから行なわれており、種々の方式が考案されている。その主なものとしては、(a)浮力利用式、(b)波圧式、(c)空気タービン式、(d)動揺式などである。これらの基本構造を図-1に示す。

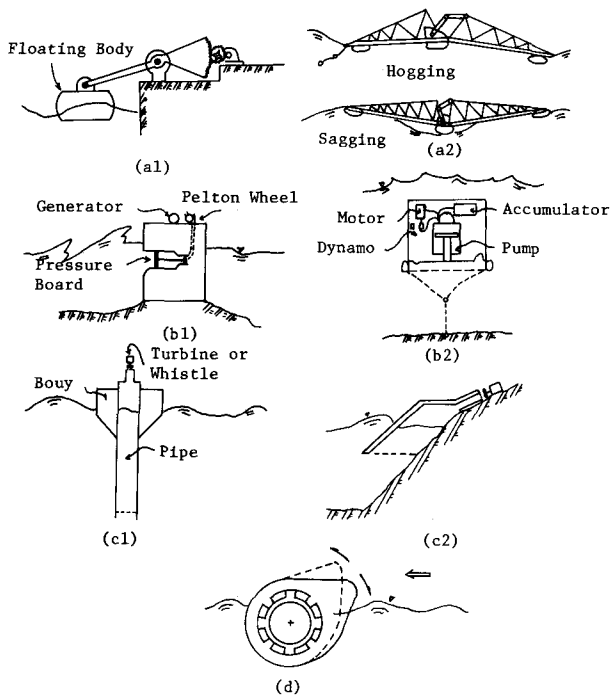


図-1 各種波力発電方式

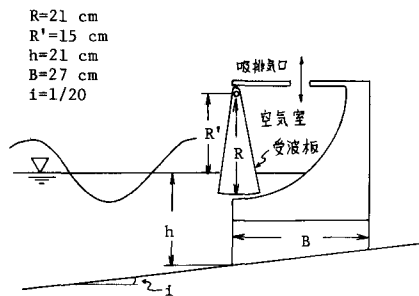
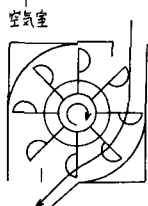
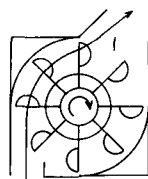


図-2 模型の基本構造

(イ) 排気



(ロ) 吸気

図-3 風車の回転原理

4. 実験方法

(1) 実験水槽: 実験に用いた水槽は、幅0.6m、高さ1.0m、長さ24.5mの2次元造波水槽である。造波板から9.0mの位置から $1/20$ の海底勾配がつけられている。

(2) 模型: 実験に使用した模型は図-2に示すようなタイプのものである。図中の吸排気口は、上蓋面積に対してノズル比 $e = 1/25$ 、 $1/100$ 、 $1/400$ の3種類である。受波板は波の作用で振動し、一種の空気ポンプの役割をはたす。ここで波のエネルギーは空気のもつ圧力エネルギーに変換される。本実験では、さらに、受波板の振動によって生じた空気流の効果を調べる為に、図-3に示すようなペルトン風車をピンポン玉で製作し、 $e = 1/100$ について実験を行なった。受波板の空気中での固有周期は0.86 sec.である。本模型の外観と風車部分を写真-1、2に示す。

この模型による波エネルギーの空気及び風車エネルギーへの変換効率 η' は次のように求められる。

波が単位時間に単位幅を横切って伝達する平均エネルギー量 W は、よく知られているように(1)式で与えられる。

$$W = \frac{1}{16} \omega_0 H^2 C \left[1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right] \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 h 、 C 、 L はそれぞれ構造物前面における水深、波速、波長を用いる。空気室内の空気の圧力水頭を $\bar{K}_p$ とすると、受波板の運動によって空気に吸収されるエネルギー W_2' は1サイクルあたり、

$$W_2' = \oint \bar{K}_p \omega dV \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 V は空気室内容積、 w は水の単位重量を表わす。波の周期 T は受波板の固有周期より長いので、受波板の振動は強制振動となり、その周期は波の周期と一致する。したがって、空気のもつ単位時間あたりの平均エネルギー W_2 は、

$$W_2 = W_2' / T \quad \text{----- (3)}$$

風車のエネルギー W_3 は、トルクを M 、角速度を Ω とすると、

$$W_3 = M \Omega \quad \text{----- (4)}$$

(1)、(3)、(4)式より、水槽幅を l とすると、波エネルギーの空気圧、風車への変換効率 η 、 η' はそれぞれ、

$$\eta = \frac{W_2}{l W_1} \times 100(\%) \quad \text{----- (5)}$$

$$\eta' = \frac{W_3}{l W_1} \times 100(\%) \quad \text{----- (6)}$$

となる。

本実験では空気流についての注目したが、その他応用としては、受波板の振動を油圧に変換し、油圧タービンを駆動させるなど種々の併用も考えられる。

(3) 測定方法：波高は抵抗式波高計を用いて測定した。構造物前面における入射波高 H_I は、あらかじめ構造物の無い状態で測定した沖波高一前面波高の記録を用いて、沖波高を測定することによって算定した。また、反射率 K_R は、波高計と走行台車に取り付けて走行させ、構造物前方での最小波高 H_{min} を求めることによって、 $K_R = (H_I - H_{min}) / H_I$ で算定している。空気室内の圧力は空気室上蓋に超小型圧力センサーを取り付け測定した。受波板の振れ角 θ は8mmカメラで撮影し解析した。ペルトン風車の風車の回転数は、回転軸にスリットのある円板を取り付け、スリットを通過する光をフォト・トランジスタで感知させ、1回転1パルスの信号に変換して求めた。この場合、5秒間の回転数から1分間の回転数(rpm)に換算した。トルクは、回転軸にナイロン糸を巻き、張力を与えて回転による張力変化をストレイン・ゲージで測定することによって、いわゆる、トルク・トルクの原理で算定した。

(4) 実験波諸元：実験水深は沖波水深50cm、構造物前面水深21cmである。実験波は周期 $T = 1.0 \sim 2.0$ sec.、構造物前面波高 $H_I \approx 2 \sim 10$ cmである。

5. 実験結果

(1) 空気圧 h_p' に及ぼす要因と傾向：ここで言う空気圧 h_p' は1周期内で圧力水頭の最小値を0としたときの水頭差 h_p の最大値で定義している。

受波板の回転軸を通る鉛直軸上に0をとり、空気室方向への受波板の振れ角 θ を正、他方を負と定義し、正の最大振れ角 θ_{max} (deg.)と H_I の関係は T をパラメータとして表わすと図-4のようになる。同図によれば、同一波高では、ノズル比が大きいほど θ_{max} は大きい。なお、 $e = 1/100$ ではペルトン風車を組み込んだ状態で測定したものであるが、若干、値は風車が無い場合とことなると思われる。波高が増加するに従って θ_{max} は増

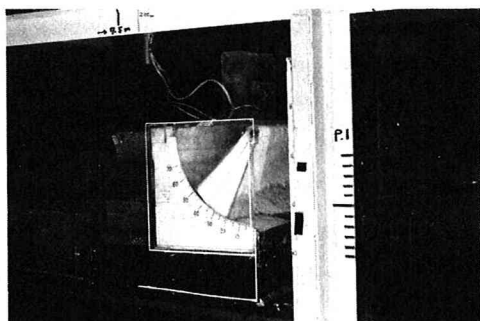


写真-1 模型外観

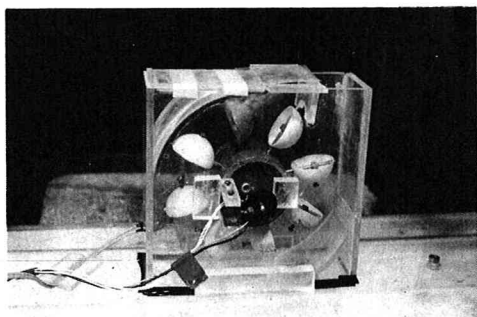


写真-2 ペルトン風車

加するが、波高変化に伴う $\theta_{\max}$ の変化はノズル比が小さいほど小さい。

図-5 は h_p' と入射波周期 T の関係を H_I をパラメータとして表わしたものである。 $\theta_{\max} - H_I$ の関係から容易に推定されるように、 h_p' は H_I が増加するに従い増加している。しかし、 $\theta_{\max}$ は T が長くなるほど増加しているのに対し、 h_p' は必ずしもそれに対応せず e に対して極値が存在している。また、 $H_I = 6, 10 \text{ cm}$ では、 e が小さいほど h_p' は大きくなっているが $H_I = 2 \text{ cm}$ では、 e に関係なく $h_p' < 2 \text{ cm}$ となっており、小さな波高では e の効果はあまり無いと言える。

空気圧、振れ角、平均水面からの表面の変位らの時間的変化の例を図-6 に示す。圧力のピークは、 $T = 1.0 \text{ sec.}$ では $\theta_{\max}$ とほぼ位相が一致するが、周期が長くなるに従って $\theta_{\max}$ より早く出現する傾向がみられた。 θ の負方向への振れは周期が短いほど大きく、 H_I が大きいほど小さい。なお、 θ がより位相が遅れて出現することは、受波板の運動が粘性等の減衰のある強制振動であるとして理解される。

(2) 反射率 K_R の傾向： 図-7 は K_R と h_p'/H_I の関係を示したものである。 K_R はおよそ 0.35 ~ 0.7 に分布している。周期別にみると、 $T = 1.0 \sim 1.4 \text{ sec.}$ では K_R は $e = 1/400, 1/100, 1/25$ の順で大きく、逆に、 $T = 1.8, 2.0 \text{ sec.}$ では $e = 1/25, 1/100, 1/400$ の順で大きい。 $T = 1.2 \text{ sec.}$ では $e = 1/25$ の K_R がおよそ 0.1 ~ 0.2 であり、非常に小さな値を示しているがその原因は不明である。

構造物下部自体の反射率は測定していないが、同様な実験から受波板の反射率が 0.2 ~ 0.4 であるとの報告⁵⁾ があることから、およそ 0.2 ~ 0.3 が構造物下部の反射率と推定される。構造物全体の反射率を平均 0.5 とすると、入射波エネルギーの残り約 75 % がエネルギー損失及び空気圧に寄与していると考えられる。

(3) エネルギー変換効率 η と回転数 N の周期特性： 図-8 は $H_I = 6 \text{ cm}$ の波エネルギーから空気エネルギーへの変換効率である。およそ $T = 1.3 \sim 1.8 \text{ sec.}$ の範囲で双頭形の極大値をとり、それ以下及び以上で η が低下している。また、その範囲内では平均 40 % 程度の効率が得られるようである。

図-9 は無負荷時におけるペルトン風車の回転数 N と T の関係を h_p' 及び H_I をパラメータとして求めたものである。 H_I の増加に対する N の増加の割合は周期が長くなるほど大きい。一方、同一の h_p' に対しては明確な周期特性をもち、この場合では $T = 1.6 \text{ sec.}$ で h_p' が増加するほど N は他の周期よりも小さくなっている。

ペルトン風車に負荷をかけた場合の空気圧への変換効率 η と風車トルクへの変換効率 η' の周期特性は図-10 に示されている。図中の h_p' は同時に測定された値である。この場合、 η はノズルだけのときの傾向と異なり、 $T = 2.0 \text{ sec.}$ で $T = 1.8 \text{ sec.}$ よりも η が大きくなっている。これは風車とその格納室を取り付けたための現象であ

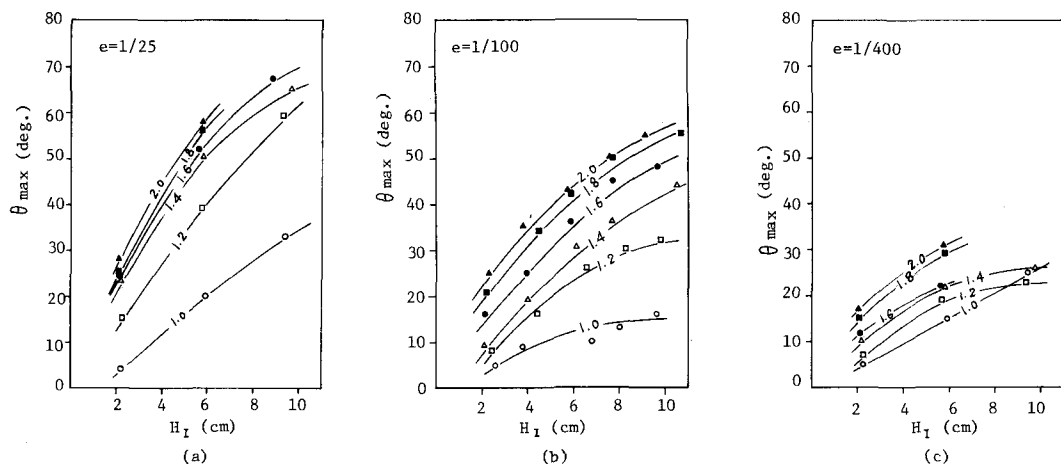


図-4 受波板の最大振れ角

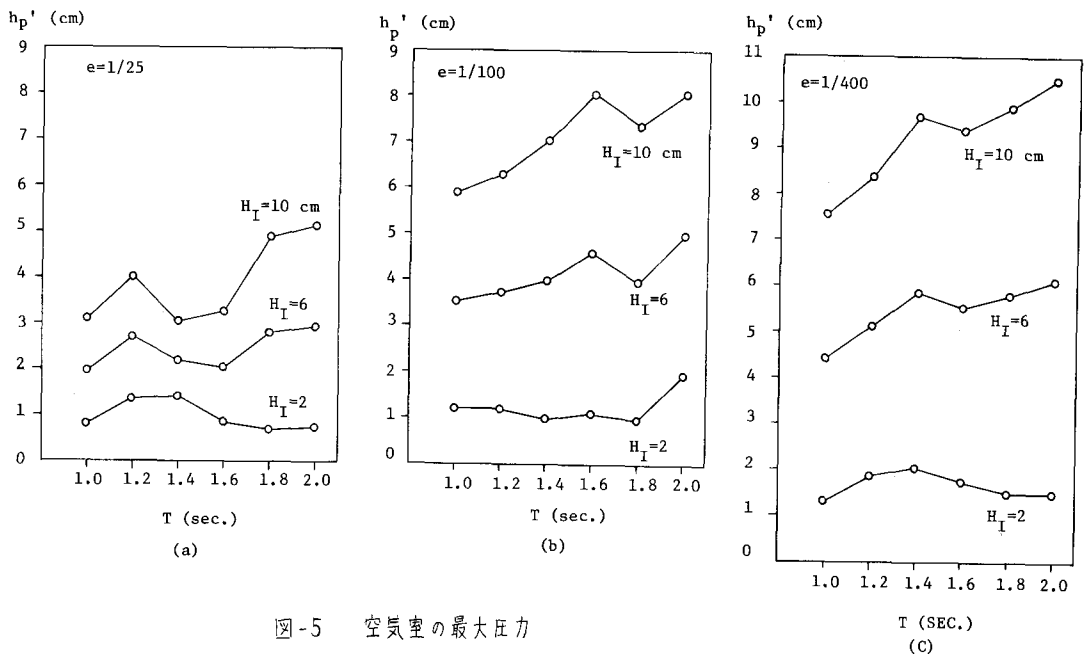


図-5 空気室の最大圧力

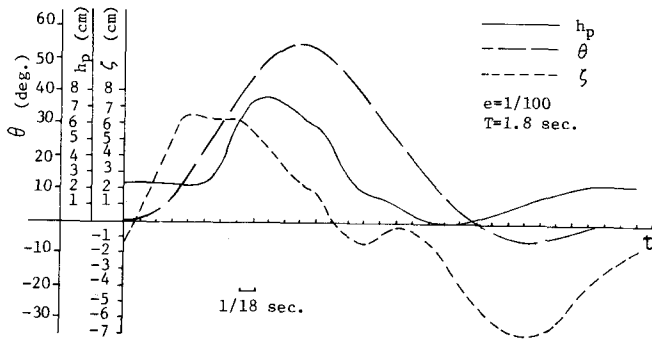


図-6 振れ角, 空気圧, 水面変位の時間的変化の例

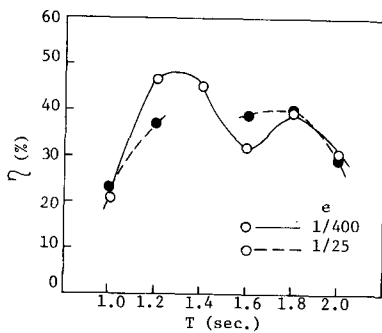


図-8 エネルギー変換効率

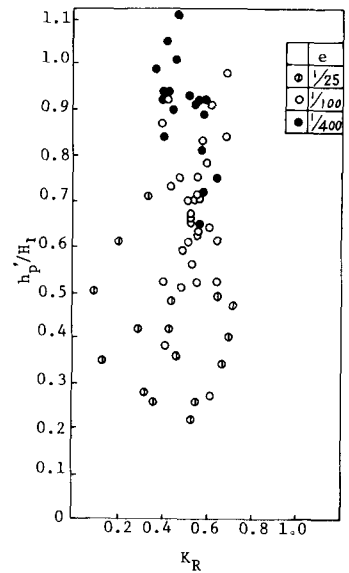


図-7 反射率

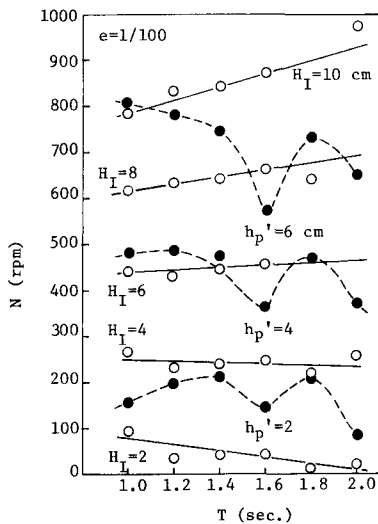


図-9 ペルトン風車の回転数

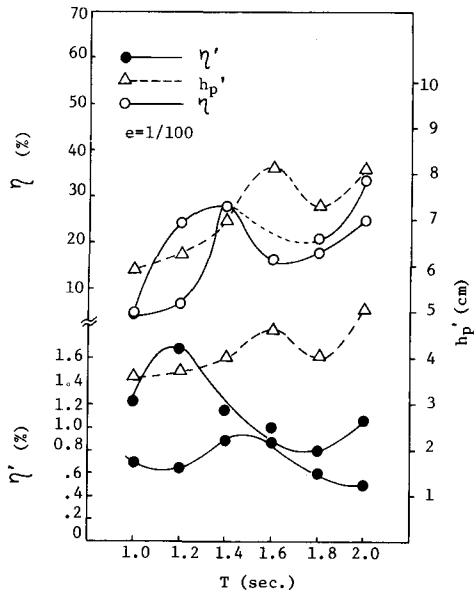


図-10 エネルギー変換効率

3う。また、 $H_I = 10\text{ cm}$ では $H_I = 6\text{ cm}$ よりも h_p' は大きい、逆に h_p' は小さくなっている。 η' は

$H_I = 10\text{ cm}$ 及び 6 cm で最大値がそれぞれ1.65%、0.85%である。最大値の出現周期はそれぞれ1.2及び1.4 sec.である。 η' は η と比較して非常に小さいが、実際に使用されている空気タービンの効率で考えるならば、 η' の値からみて η' は向上する。

6. あとがき

以上のように、防波堤に組み込む固定式波力発電について、本型式の特性がある程度つかめた。しかし、データが十分でなく、定量的な把握、考察には至っていない。

空気圧については、既存のJarlan型消波堤で水室内の空気流が問題となっており、室蘭港絵鞆地区に設置されている多孔型ケーソンタイプの防波堤ではこの空気圧を除去するために防波堤上蓋に空気孔がもうけられている。このような既存の型式のスリット壁、多孔壁を有する直立防波堤内の空気圧と利用する方法も考えられ、空気タービン方式が低圧力でも有効なことから、現在、筆者らはこの点についても実験を進めている。また、直接波力で回転する波力水車によって波エネルギーを吸収する方式についても実験中であり、この種の防波堤への組み込みを検討する予定である。

なお、本研究は文部省科学研究費・試験研究2の一部として行なわれたものである。

参考文献

- 1) たとえば、平本 昌： 海洋エネルギー発電、電設工業、1978-8
- 2) 益田善雄： 波力発電の構想と現状、電気、1978-4
- 3) 海洋工学ハンドブック編集委員会編： 海洋工学ハンドブック、コロナ社、1975
- 4) 前出3)
- 5) 三宅、他： 波動からエネルギーを得るための一、二の実験、第22回海洋工学講演会論文集、PP461~466、1975