

2 水槽式波力発電とその経済性

本 間 尚 雄

〔要 旨〕

近年、石油ショックなどの影響もあって、石油に代わるエネルギー源に対する関心は急速に高まっている。

四囲が海である日本では波力エネルギーは決して小さなエネルギー源ではないが、その科学的分析は緒についたばかりである。

本稿で「波浪」とはどういうものを簡単に説明し、この波浪のもつエネルギーを波力発電に利用する3形式すなわち、空気流動式、浮き子式、2水槽式を概観している。

この3形式のうち、割合大型化することができ、将来最も有望と考えられる2水槽式波力発電装置（当研究所で特許出願中）については、積み重ね形、浮遊形、併置形に分け、その構造と機能について詳しく紹介している。

つぎに2水槽式波力発電装置を利用することを前提にして、昭和48年観測の波浪の波高ならびに周期の頻度分布に基づいて、主に、酒田港、金沢港、八戸港、鹿島港、波浮港、那覇港の波力エネルギーの分析が行なわれている。

この波力エネルギーの分析に当っては、実用に耐える理論式、もしくは実験式が見当らなかったの、かなり大胆な公式で計算が行なわれているが、年間ならびに月間の波高による波力エネルギーの分布状況を明らかにする方法について述べ、その計算例が示されている。

その結果、波力発電の経済的評価を行なうことができるようになり、当面、波力発電は専用装置ではkWh当り20~30円になるが、防波堤などとの兼用装置では10円前後となる地点もあり、離島など特殊な条件の下では現在でも実用可能である。

さらに、この経済的評価などに基づき、今後の課題にふれ、波浪の観測網の強化を訴え、波浪の全状況の正確な観測法として「3点観測法」の実施を提案するとともに、2水槽式波力発電装置を実用化するための実験、研究の重要性を訴えている。

1. はじめに
2. 波浪について
3. 波浪のエネルギーについて
4. 波力発電の諸形式
5. 2水槽式波力発電装置
6. 波浪の実測例とそのエネルギー
7. 波力発電の経済性について
8. 今後の課題
9. おわりに

1. はじめに

昭和48年の中東動乱に端を発した世界的石油危機以来、この危機に対処するため様々なエ

ネルギー対策が工夫されてきた。その一方法として未だに十分に利用されていない大自然のエネルギー、太陽熱、地熱、風力、潮力、波力などの利用が提案され、国策としての一大プロジ

ェクト、サンシャイン計画でもこれらの大自然のエネルギーの研究開発が取り上げられている。

これらの未だに十分に利用されていない大自然のエネルギーを、基礎産業である電力と結びつけて、筆者は「未利用電源」と称しているが、この「未利用電源」は既開発の水力、火力、原子力などに比して一般にエネルギー密度が極めて低く、不安定であるのが特徴である。だからこそ、「未利用電源」は我々の周りに豊富に存在しながら、未だに有効に電源としては利用されていないのである。

波力発電にしてもその通りである。波力は他の「未利用電源」に比較すればエネルギー密度は高い方であるが、波浪発生の主因は風であり、「風来坊」の名の如く風は全く気ままである。従って波力そのものも、季節、月、日はもちろん時間、分毎に方向も強度も変化し、その有効利用は決して楽なものではない。しかし「雨垂れ石を穿つ」の諺通り、地球に海ができて以来数十億年にわたって、四六時中休むことなく海岸に打ち寄せてきた波浪の力は決してあなどることはできない。

現に波浪の被害から海岸線を、港を守るために莫大な国家予算が、護岸費および港湾維持費として年々使われている。また、一技術的問題としては、火力、原子力発電所の護岸用としても大いに用いられているテトラポット問題がある。テトラポットは波浪のエネルギーを有効に利用するのではなく、単に波浪による被害を防ぐため波浪エネルギーを雲散霧消させるだけのもの、このテトラポットの特許使用料として日本からフランスに年間数億円が支払われている。

単に石油危機を乗り切るためにだけではな

く、四囲を海に囲まれている日本の海岸線を、エネルギーを利用しつつ、波浪から守るという点でも波力発電は一考に値いするものであろう。

日本は島国であるから離島が数多く存在し、この離島がいかに小規模であっても、電気事業法の供給規定により電力会社は送電をしなければならない。この問題では各電力会社とも頭を悩ませているが、特に離島を多くかかえている九州電力と沖縄電力では重要課題の一つとなっている。

離島によっては数10 kW という規模の消費電力の地帯もある。小規模であるから発電コストが高くなるのは当然であるが、電力の安定供給のためには、三直四交替制で4人の従業員を必要とする。このような小規模離島の電力料金の収入では1人分の人件費がやっとなかえらぬというのが現状である。それにもまして問題なのは生活や福祉などの問題から離島へ出向する人がいなくなっているということである。この対策として制御が割合容易な波力発電が浮かび上がっており、沖縄電力では離島対策としての波力発電の検討を開始している。

一体、日本の周囲にはどの位の波力エネルギーが存在するのかという問題がある。波浪の観測は地点も少なく歴史も浅いので、正確なことは判っていない。しかし、概算をして見ることはできる。日本の海岸線は総計 13,000 km あり、その内波浪の荒い外洋に面している海岸線はその半分の 6,500 km と考えられる。平均の波力エネルギーを海岸線 1 m 当り 20 kW とすれば 1.3 億 kW となる。これが総べて電力に利用できるのではないが、エネルギー資源としては、現在の日本の最大電力需要の 2 倍程度存在することになる。

2. 波浪について

あらゆる科学がそうであるが、波浪の問題もまだまだ判っていないことが非常に多いというのが現状である。この章で波浪の分類や性質について簡単に説明を行なうが、更に詳しく知りたい人には判り易い解説書として、阿部友三郎著の「海水の科学」の「海水の混合」、「海水の運動」の項を参照するようお奨めする。

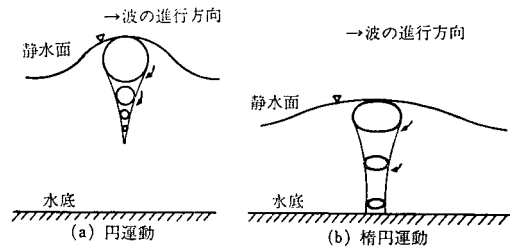
波浪は大別すると表面張力波と重力波とからなる。表面張力波とは水と大気との境界面、すなわち水面を維持する力となっている水の表面張力が水を移動させまいとする復元力となって生ずる波である。一方、重力が復元力となって生ずる波を重力波と称している。波長が数 cm 程度の波は表面張力の影響が主で表面張力波に属するが、波長が数 10cm となるとその影響は殆んどなくなり重力波となる。

我々がエネルギー源として利用しようとする波は重力波であるが、波浪の発生には表面張力波が大きく与かっているとするのが定説である。風から波浪が生ずる機構は十分には解明されていないが、最初に生ずる表面張力波の不規則性による摩擦力が大波浪の発生には必要と理解されている。事実、古くから波浪を静めるため海面に油を流すという方法が知られている。これは海面にできた薄い油膜により表面張力が弱まり、表面張力波の発生が妨げられることが主因と考えられている。今後の波浪の研究でも表面張力波は重要な役割を果すであろう。

重力波は波長と水深の関係から三つに大別されている。今、波長を L_m 、水深を h_m とする。水深と波長の比 h/L が 0.05 より小さい波を長波と称し、 h/L が 0.5 より大きい波を深水波と称している。その中間に当る h/L が

0.05 より大きく、0.5 より小さい波を浅水波と称している。

波浪はどんどん海岸に打ち寄せて来るからといって、海水そのものが波浪とともに移動して岸に打ち寄せて来るのではない。海水の粒子そのものは、波浪のない平穏時の原点を中心にして第1図のような円運動あるいは楕円運動をしている。



第1図 波浪における水粒子の運動

海底が深い所にある深水波では海水粒子は円運動をしている。その際、海面に近い粒子は波高を直径とする大きな円運動をし、海面から離れるにつれて急速に小さな円運動に変化していく。すなわち、深水波では海水の運動は海面を離れるにつれて急速に減少するもので、その減少の割合は水深が波長の $1/9$ になるごとに半減し、水深が波長と等しい所では、その移動量は表面波高の $2/1,000$ 程度となる。従って大嵐であっても水深 500 m 以下では殆んど海水の振動はなく静穏そのものである。

波形の伝播速度すなわち波速を c m/s、波の周期を T s とすると深水波の波速は水深には影響されず次式で表わされる。但し、 g は重力加速度で 9.807 m/s^2 である。

$$c = \frac{g}{2\pi} T = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad (1)$$

なお、波浪の表面の形は波高 H_m が波長に比して大きくなるにつれて波頂はとがりだし、 H/L は $1/\pi$ より大きくなることはない。

水深が浅くなるにつれて、すなわち、 h/L が小さくなるにつれて、水粒子の運動には海底の影響が現われ、円運動は楕円運動に変化する。 h/L が 0.05 より小さい長波では楕円の長径は水平に長く伸び、波速 c は周期 T に無関係で水深 h のみの関数となり次式で現わされる。

$$c = \sqrt{gh} \quad (2)$$

土用波に代表されるうねりは長波に属し、大洋における平均波速は 200 m/s にも達する。この速度は時速にすると 720 km/h で新幹線の 3 倍以上という高速である。

深水波と長波の間にあたる浅水波は諸性質がこの中間で、複雑な現象を示す。前述の深水波、長波の諸性質も波高が小さい、すなわち微小振動の波浪としてのもので、波高が高くなった場合、十分に適用される理論解は示めされておらず、特に浅水波の実用的説明は今後の実測、実験、理論面での発展にまたなければならぬのが現状である。

これらの波の他に、海底地震や「かわず飛び込む水の音」式の衝撃によって生ずる単独波もある。このような波を孤立波と称しており、この孤立波の研究は割合に進んでいて、スコット・ラッセルの実験公式として古くから波速は次式で示めされている。

$$c = \sqrt{g\left(h + \frac{H}{2}\right)} \quad (3)$$

また、孤立波の第 1 次近似理論解としては次式が求められている。

$$c = \sqrt{g(h+H)} \quad (4)$$

これらの式はいずれも波高の小さい時波速は長波と等しくなる。実験式 (3) は波高の影響が理論式 (4) の半分であるから、当然波高の影響は若干理論式より小さくなる。

上述の波浪の種類以外に、湖や湾、海峡など

の形状から生ずる固有振動としての静振現象もあり、水温差や海水の塩分濃度差による比重の違う水平層が生じた場合に起こる極めて周期が長く、しかも表面は相対的に穏やかな振動をす内部波などの現象がある。

3. 波浪のエネルギーについて

水面を波が進行しているときは、水面水中の水粒子は先述のごとく円運動もしくは楕円運動をしているが、この運動に対応するエネルギーが水全体に伝えられている。水平水面で単位面積を有する水面から水底までの水柱について全エネルギーを計算すると 1 周期間の平均値 E は次式で考えられる。

$$E = \frac{\rho g}{8} H^2 \quad (5)$$

この式は微小振幅の仮定範囲内では、深水波、浅水波、長波のいずれについても成立する。

このエネルギー E をもった波浪が波の進行方向に伝わっていくので、波浪の進行方向と直角で長さ 1 m 当りのエネルギー輸送量 W kW/m は波のエネルギーの輸送速度を c_G m/s とすると次式で現わされる。

$$W = c_G E = \frac{c_G \rho g}{8} H^2 \quad (6)$$

この波浪のエネルギー輸送速度は波浪の群速度といわれていて、波速 c よりは一般に小さい。深水波では $c_G/c = 1/2$ で、長波では $c_G/c = 1$ である。浅水波はその中間で h/L および波高によって変化する。

波力エネルギーを波力発電に利用しようとする場合、水深の深い所では海上浮遊形となり、一般に深水波を利用することになる。しかし、現在、波浪の観測が行なわれているのは主として海岸に近く、しかも波砕の生じない深さの地

点，すなわち浅水波に相当する地帯である。また，この観測値に基づいて設計計算ができ，波砕を生ぜず有効に波力の利用ができるのもこの地帯，すなわち浅水波帯である。この浅水波帯では波高の影響も大きく，この地帯における波高や波長，周期などを考察に入れたエネルギー輸送量に関する適当な一般公式がないので，計算を容易にするためあつて次のような仮定を設けた。

浅水波の波速には孤立波の波速に関するスコット・ラッセルの実験公式(3)を用い，エネルギー輸送速度と波速の比 c_d/c の値は長波1と深水波1/2の間で浅水波の理論値の平均に近い3/4を採用し，浅水波のエネルギー輸送量 W を次式で考えることとした。

$$W = \frac{3}{4} \times \frac{\rho g}{8} H^2 \sqrt{g \left(h + \frac{H}{2} \right)}$$

$$\approx 3 H^2 \sqrt{h + \frac{H}{2}} \quad (7)$$

この仮定はかなり大胆なものであるが，現状ではやむを得ないもので，今後の実測，実験，研究により改良すべきものである。

以上をまとめて長波，浅水波，深水波の波力エネルギー輸送量の概算式を示したのが第1表である。

第1表 波の種類とエネルギー輸送量

波の種類	h/L の範囲	波のエネルギー輸送量 概算値 W kW/m
長波	~0.05	$4 H^2 \sqrt{h}$
浅水波	0.05~0.5	$3 H^2 \sqrt{h + (H/2)}$
深水波	0.5~	TH^2

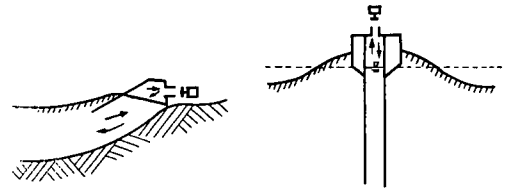
4. 波力発電の諸形式

波力発電の実用化に成功しているのは日本だけで，戦後における防衛庁の益田氏の努力のためのものである。現在 60 W 程度の小型波力発電

機をもった燈標ブイ 300 個以上が設備されている。

波力発電に関しては，過去さまざまな工夫がされているが，その主な形式は3種類ある。

第1の形式は波の上下動を空気の流動エネルギーに変え空気タービンで発電を行なうものである。第2図は固定式で海岸などに設置するものであるが，干満差の大きい場合は空気の圧縮率が大きく変動し効率が悪くなる。第3図は燈標ブイ形で小型発電用ではあるが，波の性質を



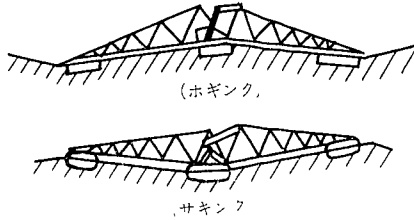
第2図 海岸固定式波力発電装置

第3図 燈標ブイ形波力発電装置

極めて巧妙に利用しており，現在実用化しているのはこの形である。この形では中央パイプが深部に口を開いている。ブイを設置する地点は浅水波帯から深水波帯へと変化する地帯が殆んどで，前述のごとく水深が深くなるにつれて急速に水粒子の運動は弱まる。従って中央パイプの水位は殆んど変化をせず，波浪の中心水位を保っている。一方，ブイ全体は浮力により波浪と上下動を共にするので，中央パイプの内部では相対的には水位が上下動することになる。従って，図の矢印のような空気流の往復動が生ずる。この空気流の片道を発電に利用する2弁式と往復流を利用する4弁式とがある。当然のことではあるが，4弁式の方が2弁式よりも波力エネルギーの利用率は約2倍よい。現在，実用に供されているのは4弁式で波力エネルギーの利用率は17%程度といわれている。

第2の形式は浮き子の波による上下動を直接

動力に用いて発電を行なう方式である。この形には、浮き子の上下動を棒または鋼線などで海底もしくは途中で固定設置した発電機を直接廻わす方式や、第4図のごとく3個の浮き子を2



第4図 浮体形波力発電装置

個の棒の端に置き中央を回転ヒンジで継ぎ、波面より生ずる3個の浮き子の屈曲を利用してヒンジ部分で発電を行なうなど様々な方式がある。いずれにしてもこの形は単機では大型発電は困難である。

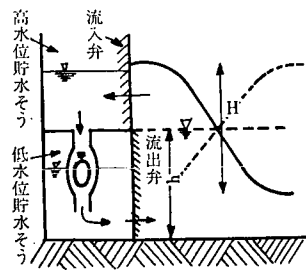
第3の形式は流入弁をもった高水位貯水槽と流出弁をもった低水位貯水槽を設け、波浪の上下動によりこの二種の貯水槽間に生ずる海水の落差を利用して連続的に発電をする2水槽方式である。この形式は昨年10月に筆者の申請で電研が特許出願中のもので、電研型の波力発電装置と称すべきものである。従って、この形式については次章でより詳しく述べるが、この形は空気流と異なり海水そのものを利用するので、低落差とはいえ比重が1,000倍近くも大きく、他の波力発電形式に比べれば大型化が可能で単機数10kWから100kW位までが可能となる。また、波浪の波高が一定なら60%程度の波力エネルギーの利用率が可能と推定されている。

この他、イギリスでは北海の冬季10~20mにも達する大形の波の利用を1975年までに実現化する目的で、波浪に面して数kmにおよぶ海上浮遊装置の研究計画が立てられている。こ

の計画に対し英政府は6万ポンド(4,200万円)の補助金の支出を昨年決定した。この形式は詳細は不明であるが、海上に浮かべた高さ1m程の堰をオーバー・フローしてくる海水のエネルギーを利用するもので、かなり効率の高い装置といわれている。

5. 2水槽式波力発電装置

第5図は比較的海岸に近い海中に設置した2水槽式波力発電装置の一例である積み重ね形を示す。上部にある高水位貯水槽は外海側の側面



第5図 積み重ね形波力発電装置

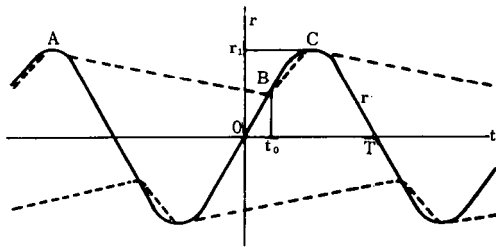
に取水のみを行なう流入弁を備えており、この流入弁を通して採取した海水を貯留するようになっている。その底面は平均水位とほぼ等しく、従って、海底より hm の高さにある。流入弁の面積が十分に大きく、貯水槽の奥行き δm が適当であれば、高水位貯水槽の水位は波高が最高に達した時の水位と等しい位置まで上昇する。

低水位貯水槽は前記高水位貯水槽の下方に一体的に連設してあり、その底部は海底に接している。この低水位貯水槽は高水位貯水槽と同様に外海側の側面に排水のみを行なう流出弁を備えており、外海の水位がこの低水位貯水槽の水位よりも低くなったとき流出弁が開き水槽内の海水を外部に排出するようになっている。従って、流出弁の面積が十分に大きく、水槽の奥行きが適当であれば、波浪の最低水位と等しい位

置まで低水位貯水槽の水位は下がる。

上述の「高水位貯水槽の水位は波浪の最高水位まで上昇し、低水位貯水槽の水位は波浪の最低水位まで下がる」というのは計算を容易にするための仮定であって、実際には波浪により海水粒子は大きく回転運動をしており、衝撃的な力を伴う運動エネルギーをもっているため、水位の上下差はさらに拡大する方向にある。従って、この装置の最適設計を行なうためには、この面でも実験・研究を行なう必要がある。

前述のように、高水位貯水槽の水位は低水位貯水槽の水位より常に高いので、第5図のごとく高水位貯水槽の底面に低水位貯水槽と連繋する水圧管を設け、その途中に水車と発電機を設置すると連続的な発電が可能となる。



第6図

第6図に波浪の水位および両貯水槽の水位変動を示す。波浪の水位 r は平均水位 r_0 を原点 0 、縦軸上方を正とし、時間 t は横軸で右方を正とする。波浪の水位 r の時間的变化は、説明ならびに計算を簡単にするため次式のごとく正弦変化として実線で示している。

$$r = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (8)$$

また、高水位貯水槽の水位変化は破線で、低水位貯水槽の水位変化は一点鎖線で示している。

両貯水槽の水位は発電の際に使用する平均使用水量 $q \text{ m}^3/\text{s}$ によって大きく変動し、またこ

の平均使用水量 q によって発電出力 $p \text{ kW}$ も変動する。第6図に示す通り、両貯水槽の各水位は半周期 $T/2$ の時間差で絶対値は等しく正負の符号を逆にして変動するので、以下の説明は専ら高水位貯水槽の水位変動に基づいて行なう。なお、計算を容易にするため使用水量は変化せず平均使用水量 q と等しいと仮定する。

波浪の水位 r が最高水位 r_1 に達した時、この水位は高水位貯水槽の水位と一致する。この点を A とすると、それ以降は波浪の水位は水槽内の水位より低くなる。このため流入弁は閉塞され高水位貯水槽の海水は水圧管を流下する。従って、水槽の水位は直線的に下降し、再びこの水位と波浪の水位 r とが一致する点 B で流入弁が開き海水が高水位貯水槽内に流入し始める。水槽内の水位はその後直線的に上昇し、波浪の次の最高水位点 C で再び流入弁は閉まる。このようにして、高水位貯水槽の水位は点 A , B , C の水位変動を一周期として繰返し変動する。

波浪が平均水位 r_0 と一致する原点 0 より点 B に達すまでの時間を t_0 とすると、点 B における波浪の水位は次式で示される。

$$r = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{T} t_0 \quad (9)$$

流入弁が開いている時間、すなわち点 B より点 C までの時間は $T/4 - t_0$ であるから、高水位貯水槽の奥行き δ は波速を c とすると次式のようにするのが合理的である。但し波速は(3)式を採用する。

$$\delta = c \left(\frac{T}{4} - t_0 \right) = \left(\frac{T}{4} - t_0 \right) \cdot \sqrt{g \left(h + \frac{H}{2} \right)} \quad (10)$$

従ってこの形式の装置の海岸に沿っての単位長さ当りの波浪の点 A , B 間における総使用

水量を $Q \text{ m}^3$, 出力を $p \text{ kW}$, 水槽内の平均水位差を $\bar{y} \text{ m}$ とすると次の関係式が成り立つ。

$$Q = \alpha \times \frac{H}{2} \left(1 - \sin \frac{2\pi}{T} t_0 \right) \quad (11)$$

$$q = Q / \left(\frac{3}{4} T + t_0 \right) \quad (12)$$

$$\bar{y} = \frac{H}{2} \left(1 + \sin \frac{2\pi}{T} t_0 \right) \quad (13)$$

$$p = 8 q \bar{y} = 2 H^2 \sqrt{g \left(h + \frac{H}{2} \right)} \times \frac{\frac{1}{4} - t_0/T}{\frac{3}{4} + t_0/T} \cos^2 \frac{2\pi}{T} t_0 \quad (14)$$

出力 p の計算式の最初の部分の係数は通常の水力発電では“8.5”が用いられているが、この波力発電においては極めて低落差であり、また落差の変動が激しく、水圧管内の損失なども考慮して“8”を用いた。

上記式を用いて出力 p を計算すると出力を最大にする t_0/T は -0.059 であるが、この場合、落差の変動が3倍以上にもなる。しかも、積み重ね形では高水位貯水槽の水位を波浪の平均水位以下まで下げることができない。従ってこの形でできる運転での最大出力の t_0/T は0である。その際の落差の変動は2倍であり、出力 p_0 は次式で与えられる。

$$p_0 = \frac{2}{3} H^2 \sqrt{g \left(h + \frac{H}{2} \right)} \doteq 2 H^2 \sqrt{h + \frac{H}{2}} \quad (15)$$

第2表には上式を用いた単位長さ当りの出力 p_0 を示す。浅水波のエネルギー輸送量 W

第2表 積み重ね形波力発電出力
(kW/m)

h \ H	1	2	3	4	5	6
5	4.7	19.6	45.9	84.7	137	204
10	6.5	26.5	61.0	111	177	260
20	9.1	36.7	83.5	150	237	345

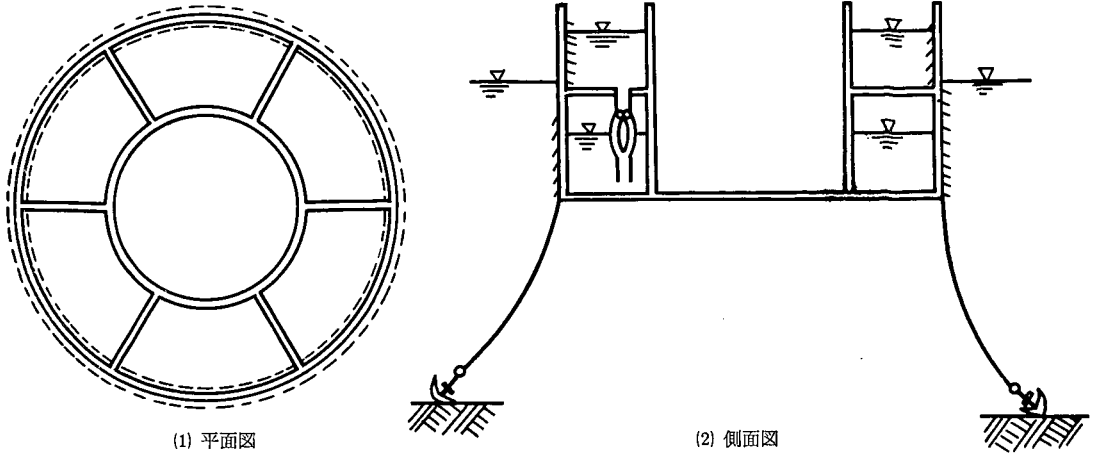
の(7)式と比較すればそのエネルギーの2/3を利用できることが判る。

この積み重ね形は干満差の少ない地点に適している。日本でこのような海岸線の存在するのは日本海で、干満差の最高は50cmに満たないが、海面そのもの水位は季節によって1m程度も変動する。日本海では波高の高い時期は10月から3月に集中しており、もしこの間における海面の平均水位の変動が小さいならばこの積み重ね形を実用化することができる。

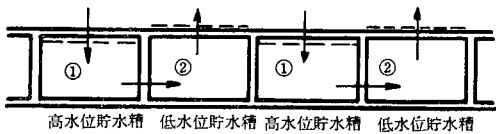
この積み重ね形は波長よりも大きい海面浮遊構造物、例えば海上原子力発電所、大型海上掘削船などでは、常に波浪の平均水位と高貯水槽の底面とを一致するよう調節が可能であるから、防波を兼ねてエネルギー源として有効に利用することができる。第7図はその1例である。

第8図は干満差が波高に比して大きな地域での実施例である併置形を示す図である。高水位貯水槽と低水位貯水槽とは海岸線に沿って交互に併置されており、高水位貯水槽の外海側の側面には上下方向に関する全面に流出弁が備えられている。一方、低水位貯水槽の外海側の側面にも全面にわたって流出弁が備えられている。この2貯水槽は積み重ね形と同様に水車ならびに発電機を設置した水圧管で連繫している。

この併置形波力発電装置では海水は図中の矢印のごとく流れる。従って、積み重ね形に比較すると発電効率および防波作用による防波効果はほぼ半減するが、大きな干満差により平均水位が上下に変動しても、波浪の周期は潮汐の周期に比して極めて小さいので、波浪の平均水位である潮汐の水位を中心にして、流入弁、流出弁は作動し、有効に発電を続けることができる。



第7図 浮遊積み重ね形波力発電装置



第8図 併置形波力発電装置

6. 波浪の実測例とそのエネルギー

波浪の観測は従来行なわれていなかったのではないが、実際の波浪には先述のさまざまな種類の波が含まれており、その観測方法が確立されていなかったというべきである。従って、科学的分析に耐える波浪に関する資料を整備することができなかったため、波浪に関する技術は十分には科学として発展し得なかった。

ムンクとスベルドラップ両博士がつぎに述べる有義波を想定することにより、天気図に基づいて波浪の予報することに成功したのが第二次世界大戦中で、予報技術が大戦における上陸作戦に大いに貢献したとのことである。

前後 10 分づつにわたる計 20 分間の波浪計の記録から波高 1 フィート (30 cm) 以下の波浪は除いて、 N 個の波があったとする。この N

個の波を波高の高い順に並べ、高い方から $N/3$ 個までの波を平均して求めた仮想的な波浪を $1/3$ 有義波と定義し、その波高と周期は上述の $N/3$ 個の波の平均である。

このように複雑な波浪現象を有義波を想定することにより、統一して表現することが可能になり戦後波浪の科学は急速に進展を始めている。しかし、日本での波浪の科学的観測の歴史は浅く、近年測定地点を急速に増やしつつあるとはいえ、日本全体を概観するにはその地点数ならびに測定年数は不十分といわざるを得ない。第3表は運輸省の波浪観測所における観測開始年月日および観測地点の水深の一覧表である。

日本における波浪の総合的分析は長期にわたる資料が整った段階で行なわざるを得ないが、観測が開始されたばかりで年間を通しての観測は行なわれていないが、沖縄本島的那覇港および伊豆大島の波浮港の観測値も上載されている最新の資料、本年5月発行の港湾技研資料 No. 209に基づき、数地点を代表に選び、波浪の分析を若干行なってみる。

第3表 波高観測地点，開始年月日および水深一覽表

波浪観測所	年月日	設置箇所水深 m
酒田港	1969. 10. 24	13.85
金沢港	69. 11. 29	20.20
蕪島(八戸港)	71. 3. 31	21.00
鹿島港	72. 4. 19	21.20
東京港	71. 10. 19	22.00
波浮港(大島東岸)	73. 4. 11	49.28
潮ノ岬	70. 8. 11	12.80
神戸港	69. 1. 1	13.00
浜田港(島根県)	74. 3. 1	51.00
宇部港	65. 8.	7.5
端島	58. 10.	18.00
田子の浦港	68. 4.	17.00
那覇港	73. 7. 1	33.00
津堅島(沖縄県中城港)	73. 12. 1	53.00
苦小牧港	71. 6. 1	20.00
留萌港	68. 11.	12.00
紋別港	66. 10.	10.00
釧路港	71. 2. 18	12.00

i) 波高と周期の関係

一般に波高が高くなるにつれて周期は長くなる傾向にある。第4表は金沢港の昭和48年の年間における波高別周期別頻度表である。い

ま，周期 T を次式の如く波高 H の一次関数と仮定する。

$$T = a + bH \quad (16)$$

各港における a および b を各港の頻度表に基づいて最小2乗法により求めた値が第5表である。この表の最後の欄はこの回帰線の回わりの標準偏差である。この表からも判る通り，波高の非常に低い時の周期の平均に相当する a は3.5秒から7.6秒に分布している。浅水波帯における水深と周期 T の関係は次式で示される。

$$6.4\sqrt{h} > T > 1.13\sqrt{h} \quad (17)$$

長水波帯 浅水波帯 深水波帯

従って，本島における各港の水深は大体20mであるから，全体が浅水波帯に属している。なお，第4表の那覇港の A は全観測値による値である。 B は周期0~3秒，波高0~0.25mに観測回数の約20%にあたる頻度が異常集中しているが，この範囲は深水波帯であり，波浪の弱い時，湾の地形と気象の関係で生ずる波浪と

第4表 金沢港昭和48年の波高別周期別頻度表

周期範囲 (s)	波高範囲 (m)																				計
	~3	~4	~5	~6	~7	~8	~9	~10	~11	~12	~13	~14	~15	~16	~17	~18	~19	~20			
~0.25	0.125	52	132	72	11															267	
~0.50	0.375	36	252	314	121	17	2	4			1								1	746	
~0.75	0.625		105	218	194	70	3		4											594	
~1.00	0.875		23	104	165	107	18								1					417	
~1.25	1.125			54	103	107	43	1												308	
~1.50	1.375		1	19	54	79	65	2	1							1				221	
~1.75	1.625			7	20	51	59	14												151	
~2.0	1.875			2	11	40	58	26	1											138	
~2.5	2.52				8	56	106	54	5											229	
~3.0	2.75					14	49	60	7											131	
~3.5	3.25					2	18	51	23	2										97	
~4.0	3.75						4	28	10	7	2	1								52	
~4.5	4.25							1	13	10	8	5	2		1					40	
~5.0	4.75								3	5	7	1	1	2						19	
~5.5	5.25								2	5	4	4								15	
~6.0	5.75									2	5	2	1							10	
~6.5	6.25										1			1						2	
~7.0	6.75											1								1	
計		88	513	790	687	543	426	258	73	35	15	5	4	1						3,438	

第5表 波高と周期の関係
($T=a+bH$)

地 点	a	b	標準偏差
酒 田 港	5.7	1.2	0.9
金 沢 港	4.0	1.5	0.6
鹿 島 港	7.6	0.55	1.5
波 浮 港	6.5	0.44	1.1
那 覇 港 A	3.5	2.1	0.7
" B	6.7	0	1.3

考えられるのでこの部分を除外して計算したものである。この場合は僅小差で浅水波帯に属している。波浮港の観測点の水深は49mであり、相当部分の波浪は深水波帯に属している。

ii) 波力エネルギーの状況

上記の如く波浮港の観測値の多くは深水波帯に属すると考えられるが、波高とエネルギーの関係は一応他と同様に(7)式を用いて算出した。従って、この地点は若干エネルギーを過大に評価していると考えられる。

各観測地点における波力エネルギー分布状況に基づき、波力発電に利用可能なエネルギーを算出するに当たって次のような順序で行なった。

- 1) 波高は波高別範囲の最低値と最高値の平均とし、その範囲に所属する頻度数の波高は全部この平均値に集中しているとする。この波高平均値を最低波高別(0~0.25m)より数えた No. を符して H_{im} とする。
- 2) 観測地点の水深と上記波高平均値に基づき波高別波力エネルギーを(7)式で計算する。この値を前記区分により W_i とする。
- 3) 一定期間における波高別頻度の率を r_i 、最高波高帯の No. を m とし、波高帯 No. i より最高波高帯までの頻度率の合計、頻度デューレーション・カーブ d_i は次式のようになる。

$$d_i = \sum_{j=i}^m r_j \tag{19}$$

- 4) 波力エネルギーは波高によって非常に大きな差があり、波力発電装置の水車および発電機の最高利用波高、すなわち最大利用波力エネルギーを決めた場合、無制限に低波高、すなわち低エネルギーまで発電をすることはできない。水車および発電機の特性にに基づき、定められた最大利用波力エネルギー W_{max} と最小利用波力エネルギー W_{min} の比 $W_{max}/W_{min}=n$ を波力エネルギーの利用倍率と称することにする。この値が大きいほど波力エネルギーの利用率が高まるが、機械のコストや維持費の関係で限界がある。一般の水力発電でもこの倍率は5以上なので、計算に当たっては5と10で行なっている。なお、この最大、最小利用エネルギーに相当する最高、最低利用波高をそれぞれ H_{max} 、 H_{min} とすると、 H_{min} は次式により2%程度の誤差で概算できる。

$$H_{min} = \frac{H_{max}}{\sqrt{n}} \left\{ 1 + \frac{H_{max}}{8h} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right) \right\} \tag{18}$$

- 5) 最大利用波力エネルギー W_{max} が決まれば、これより高い波高帯のエネルギーは W_{max} までしか利用できない。一応機械特性による低部の利用制限を無視した場合の利用可能波力エネルギーを「見かけの利用可能波力エネルギー」とし、その年間平均値を M'_i とすると次式で計算できる。

$$M'_i = \sum_{j=1}^i d_j (W_j - W_{j-1}) \tag{20}$$

但し、 $W_0=0$ とする。

- 6) 最小利用波力エネルギー W_{min} 以下の波高帯の波力エネルギーは利用不可能で、

このエネルギーを無効波力エネルギーとし、その年間平均値を M_i'' とすると次式で計算できる。

$$M_i'' = \sum_{j=1}^i \gamma_j H_j \quad (21)$$

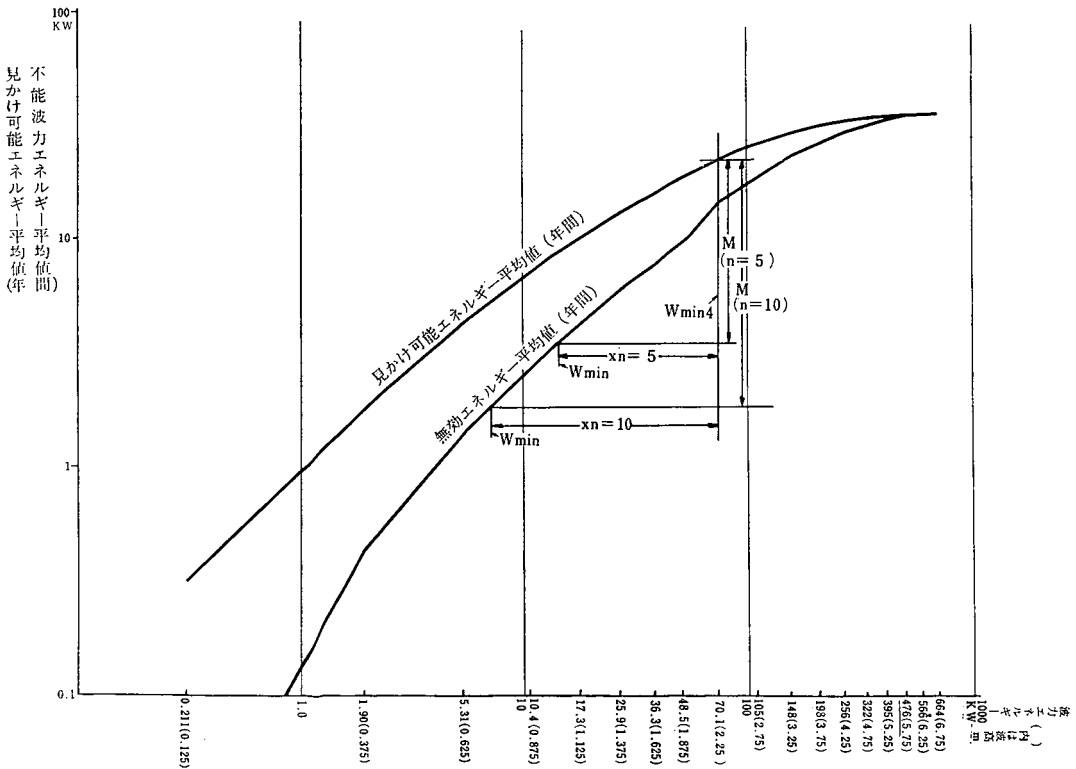
7) 最大利用波力エネルギー W_{max} に相当する波高帯の No. が k で、最小利用波力エネルギーに相当する波高帯の No. が l の場合は、実際に利用できるエネルギーを利用可能波力エネルギーの年間平均値 M とすると、 M は次式のようになる。

$$M = M_k' - M_l'' \quad (22)$$

一般には、 W_{max} 、 W_{min} のいずれかを波高の平均値のエネルギーにあわせても、他の一方は平均値のエネルギーとは一致しない。

しかし、 M_i' 、 M_i'' はいずれもデュレーション・カーブであるから、第9図の如く、 W_i を横軸に、 M_i' 、 M_i'' をそれぞれ縦軸にしてプロットし、この点を直線で結ぶことにより、 M の概算値を求めることができる。その際、エネルギーの利用倍率 n の値が一定であるのと、 W_i の変化が大きいので、横軸は対数目盛にするのが便利である。第9図は縦軸も対数目盛であるが、これは普通の日盛で差支えない。

上記算出法で昭和48年の各地における観測資料に基づいて、利用可能な波力のエネルギー量の年間平均値を算出したのが第6表である。なお、この表では頻度率は%で表示しているので計算の際には100で割る必要がある。



第9図 利用可能波力エネルギー算出図

第6表-1 各地における利用可能波力エネルギー

地点	酒田港					金沢港					金沢港 (10月~3月)			八戸港				
	波高 m	波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW		波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW		頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW		波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW			
				n	5			10	n		5	10			n	5	10	
8.25	866	0.04	13.0	22.5														
7.75	759	0.04	15.0	24.0														
7.25	659	0.04	16.7	25.4														
6.75	567	0.11	18.6	26.6	664	0.03	12.6	20.4	0.05	23.4	26.0							
6.25	483	0.11	20.7	27.9	566	0.06	14.6	22.6	0.1	24.5	27.0							
5.75	406	0.59	22.6	29.1	476	0.29	16.5	24.3	0.9	28.5	33.9							
5.25	336	0.92	24.0	29.6	395	0.44	18.2	25.2	1.1	29.2	34.1							
4.75	273	1.06	24.6	29.4	322	0.55	19.6	25.8	1.5	37.7	44.2							
4.25	217	1.61	25.2	28.8	256	1.19	21.7	25.9	2.6	47.0	53.9							
3.75	167	2.12	24.6	27.3	198	1.51	22.0	25.7	5.36	47.1	51.8	202	0.14	4.8	7.3			
3.25	125	3.81	23.2	25.1	148	2.82	21.8	24.6	5.1	44.4	48.1	151	0.34	5.8	8.2			
2.75	88.5	4.72	20.5	21.9	105	3.81	20.4	22.7	7.4	39.7	42.4	107	1.07	6.8	8.9			
2.25	58.8	5.82	17.0	17.8	70.1	6.65	18.1	19.7	12.0	33.5	35.1	71.4	2.77	7.6	9.4			
1.875	40.6	3.92	13.6	14.2	48.5	4.01	15.3	15.6	7.2	27.9	27.9	49.4	2.21	7.6	9.0			
1.625	30.3	5.02	11.4	11.8	36.3	4.39	13.3	14.3	5.8	22.2	22.9	37.0	3.53	7.5	8.8			
1.375	21.63	4.91	9.0	9.3	25.9	6.45	11.2	11.9	9.1	17.6	17.8	26.4	5.18	7.0	8.1			
1.125	14.41	6.26	6.7	6.9	17.3	8.95	8.9	9.4	9.6	13.0	13.3	17.6	8.58	6.4	7.1			
0.875	8.68	6.52	4.5	4.7	10.4	12.14	6.4	6.9	10.3	8.6	7.8	10.6	13.23	5.3	5.7			
0.625	4.41	9.52	2.8	2.8	5.3	17.20	4.0	4.1	11.0	4.8	4.9	5.4	25.78	3.8	3.9			
0.375	1.58	16.65	1.2	1.2	1.9	21.72	1.8	1.8	10.0	1.9	1.9	1.9	28.57	1.8	1.8			
0.125	0.17	26.21	0.2	0.2	0.2	7.79	0.2	0.2	1.6	0.2	0.2	0.2	8.60	0.2	0.2			
全波力エネルギー 平均 kW	36.0				36.3				64.4			12.6						
最大可能波力 エネルギー平均 全波力エネルギー平均	0.70		0.82		0.65		0.77		0.75		0.85		0.60		0.75			

第6表-2 各地における利用可能波力エネルギー平均

地点	鹿島港					波浮港					那覇港				
	波高 m	波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW		波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW		波力エネルギー kW	頻度率 %	可能波力エネルギー 平均 kW			
				n	5			10	n			5	10	n	5
4.75	329	0.06	9.0	18.0	486	0.08	13.1	28.0	403	0.06	9.2	16.9			
4.25	262	0.06	12.2	20.2	389	0.15	18.6	31.3	321	0.29	12.2	18.7			
3.75	203	0.37	15.4	22.7	302	0.23	24.0	35.4	249	0.58	14.7	20.1			
3.25	151	1.35	18.5	25.1	226	1.50	28.6	38.9	186	0.76	16.7	20.8			
2.75	108	3.75	21.1	26.1	161	3.53	32.8	40.3	133	2.50	18.2	21.3			
2.25	71.8	8.04	22.6	25.6	108	8.15	35.1	40.1	88.7	5.87	18.3	20.5			
1.875	49.6	7.15	21.6	23.4	74.7	6.61	33.6	36.7	61.4	4.94	16.8	18.5			
1.625	37.2	9.39	19.9	21.2	56.1	11.30	31.7	33.4	46.1	6.39	15.4	16.7			
1.375	26.5	15.65	17.4	18.2	40.1	15.61	27.8	28.5	32.9	7.38	13.3	14.2			
1.125	17.7	17.93	14.0	14.2	26.8	19.77	20.4	22.3	22.0	8.72	10.8	11.3			
0.875	10.7	18.62	9.7	9.7	16.2	20.53	15.2	15.2	13.3	13.77	7.9	8.1			
0.625	5.4	16.62	5.4	5.4	8.3	12.24	8.2	8.2	6.8	17.13	4.8	4.9			
0.375	2.0	0.98	2.0	2.0	3.0	0.30	3.0	3.0	2.4	12.09	1.9	2.0			
0.125	0.2	0.03	0.2	0.2	0.3	0	0.3	0.3	0.3	19.52	0.3	0.3			
全波力エネルギー平均 kW	30.2				46.6				26.2						
最大可能波力エネルギー平均 全波力エネルギー平均	0.75		0.86		0.75		0.86		0.70		0.81				

この表から判る通り、全地点とも利用可能波力エネルギーが最大になる波高帯附近では减小率は非常に小さくゆるい曲線になっている。特に n が 10 の場合はこの傾向が強い。このことは発電だけを考慮する場合には波力エネルギーの利用率を最大にするよりは、若干低めの波高帯を利用することにより、あまり利用率を下げずに、発電設備の出力を大巾に縮めることができることを示している。

第 6 表の最下欄には波力エネルギーの最大利用率が示されている。 n が 5 の場合の利用率は 70% 前後であり、 n が 10 の場合の利用率は 80% 前後である。表からも判る通り、これらの値は地点によってかなりの差があるが、それには風の状況、海岸や海底の地形などの影響が大きいものと考えられる。

日本海側の海岸では波力エネルギーの 90% 近くが冬の 10 月から 3 月までに集中しており、特に 11 月と 12 月の 2 ヶ月間に年間波力エネルギーの半分が発生している。第 6 表には日本海に面している金沢港の 10 月～3 月までの 6 ヶ月間の波力エネルギーの平均値も示している。

なお、統計的計算によれば 1/3 有義波高と波高の平均値とにはかなりの相違があるとされているが、今回の波力エネルギー計算には、各地

における 1/3 有義波による波高観測値をそのまま採用している。

7. 波力発電の経済性について

波力エネルギーは先にも述べたように決して質のよいエネルギー源ではなく、利用に際してはそれだけ経済性の点では劣るものである。第 7 表には各地の観測結果に基づき、波力エネルギーの利用特性として最高波力エネルギーと年平均波力エネルギーおよび最大利用可能波力エネルギーとの比などが示されている。

発電設備の費用は発電機の出力に比例する。前述の如く積み重ね形では波力エネルギーの利用率は約 60% であり、併置形ではその半分で、どの形を採用するかによって、利用率は違うとしても、それを考慮にいれば発電設備費は最大利用波力エネルギーに比例する。ここでいう発電設備には鉄管、水車、発電機、弁、送変電設備および制御装置空気抜き孔などを含めた機械的設備およびその据付け費一切を含めるものとする。これらの設備は海水にさらされるので、耐用年数が短くなり、さらに修理費も嵩む。従って、一般の淡水利用設備における年経費率 16% に比較すると若干大きくなり、波力発電における発電設備に対する年経費率は 18% にはなるであろう。発電設備のみによる発電

第 7 表 各地の波力エネルギー利用特性

地 点	最大波力エネルギー 年波力エネルギー平均	最大波力エネルギー 最大利用可能波力エネルギー		最大波力エネルギー 最大利用可能波力エネルギー		備 考
		$n=5$	$n=10$	$n=5$	$n=10$	
		酒 田 港	24.1	4.0	2.6	
金 沢 港	18.3	3.4	2.6	30.2	25.6	
八 戸 港	10.3	3.4	2.6	14.1	12.3	
	16.0	2.8	2.8	26.6	21.5	
鹿 島 港	10.9	4.6	4.6	14.6	12.6	4~12 月 7~12 月
波 浮 港	10.4	4.5	3.0	13.8	12.1	
那 覇 港	15.4	4.5	3.0	22.0	18.9	

単価 c_e 円/kWh は次式によって計算できる。

$$c_e = \alpha_e \gamma_e P_{\max} / 8760 \bar{P} = \alpha_e \gamma_e W_{\max} / 8760 \bar{W} \quad (23)$$

- 但し α_e : 発電設備の年経費率
 γ_e : 発電設備の kW 単価 (円/kW)
 P_{\max} : 発電設備の最大出力 (kW/m)
 \bar{P} : 利用可能出力年平均 (kW/m)
 W_{\max} : 最大利用波力エネルギー (kW/m)
 \bar{W} : 利用可能波力エネルギー年平均 (kW/m)

なお、波力発電装置によるエネルギー利用率を β で表現すると次の関係がある。

$$P_{\max} / W_{\max} = \bar{P} / \bar{W} = \beta \quad (24)$$

今、上記の波力発電設備の建設費全体を 7 万円/kW とすると、 W_{\max} / \bar{W} は第 6 表より求めることができ、直ちに c_e は求められる。

発電設備以外の構造物は奥行き、すなわち堤防の中に相異はあるが、殆んど防波堤と同構造である。従って、2 水槽式波力発電所の構造物建設費 γ_c の概算には次式に示される防波堤の建設費の概算式を流用することができる。

$$\gamma_c = 1.5 \left(h + \frac{F_{\max} + H_{\max}}{2} + \sqrt{H_{\max}} \right)^{1.5} \delta^{0.9} \text{ 万円/m} \quad (25)$$

但し h : 水深 m

F_{\max} : 最大干満差 m

H_{\max} : 最大波高 m

δ : 水槽奥行き m

なお、上式は東亜港湾工業 (株) で建設した防波堤の 3 実例およびその経験を参考にして、作った概算式である。

水槽構造物の建設費による kWh 単価 c_c は次式によって計算できる。

$$c_c = \alpha_c \gamma_c / 8760 \bar{P} \quad (26)$$

但し、 α_c : 発電構造物の年経費率
 年経費率 α_c は水槽自体が単純な構造物であるから、15% 以下として差支えない。

参考例として波力エネルギー利用倍率 $n=10$ 、発電設備の年経費率 $\alpha_e=0.18$ 、発電設備の kW 単価 $\gamma_e=7$ 万円/kW、発電構造物の年経費率 $\alpha_c=0.13$ として、金沢港と波浮港で水深 $h=10$ m の場合の波力発電コストの計算例を第 8 表に示す。但し金沢港は積み重ね形、波浮港は併置形とする。

波力発電の建設に当っては総合発電単価が最も安くなるよう計画を立てなければならないのは当然である。厳密な計算をする場合には消波効果をも考慮すべきである。第 8 表に示す通り両地点とも kW 当りの総合発電単価は 20 円

第 8 表 波力発電における発電単価

	記号	単位	金 沢 港			波 浮 港			
			105	70.1	48.5	56.1	74.7	108	161
最大利用波力エネルギー	W_{\max}	kW/m	105	70.1	48.5	56.1	74.7	108	161
利用可能波力エネルギー年平均	\bar{W}	kW/m	22.7	19.7	15.6	33.4	36.7	40.1	40.3
波力エネルギー利用率	β		0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3
最大出力 P_{\max}	P_{\max}	kW/m	63	42.1	29.1	16.8	22.4	32.4	48.3
年平均出力 \bar{P}	\bar{P}	kW/m	13.6	11.8	9.36	10.0	11.0	12.0	12.1
最大干満差	F_{\max}	m	0.5	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0
最大波高	H_{\max}	m	6.75	6.75	6.75	4.75	4.75	4.75	4.75
水槽奥行き	δ	m	21.5	19.3	17.6	18.6	19.0	19.6	20.36
発電設備の発電単価	c_e	円/kWh	6.66	5.12	4.47	2.42	2.93	3.87	5.75
発電構造物の発電単価	c_c	円/kWh	16.89	17.69	20.84	18.96	17.57	16.56	17.00
総合発電単価	c	円/kWh	23.55	22.81	25.31	21.38	20.50	20.43	22.75

を若干越えている。しかし、防波堤兼用で波力発電所を建設する場合は防波堤建設費は除外できる。防波堤の天頂巾は一般に 10 m はあるので、この建設費による発電単価相当額は 10円/kWh を若干越える。従って、この場合は両地点の総合発電単価は 10~12円/kWh となり若干高めではあるが、決して建設不可能なコストではない。特に離島の場合は現在でも発電単価は相当に高いので、波力発電が十分に採算に合う地点も存在するであろう。

8. 今後の課題

i) 観測地点と観測の強化

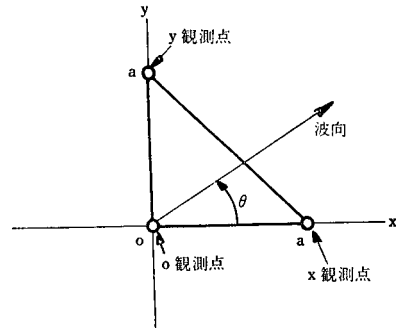
特に日本では科学的な観測の歴史が浅いので観測地点の数が非常に少ない。波力エネルギーの利用という観点よりも、護岸、防波という観点からしても、観測地点数をさらに増加する必要がある。

また、波浪の実態を科学的に理解するという観点からしても、1観測所に1観測地点しか設置しないというのではなく、その地域の波浪の性格や状況全体が把握できるよう、合理的に数地点、観測地点を増加すべきである。

現在の観測方法は1地点1観測方式であって、この観測方法では波高と周期しか観測できない。波浪の真の実態を知るためには波の方向と波長もしくは波速が観測されなければならない。

その対策として3点観測法を提案する。この3点観測法とは第10図に示すごとく、直角2等辺3角形の各頂点で波高の時間的変化を観測し、これらの観測値より直ちに、波高および波長を算出するものである。

いま、説明を簡単にするため、波浪は余弦波とする。第10図に示すごとく、2等辺部分の



第10図 3点波浪観測法

頂点を原点0とし、2等辺をそれぞれx軸、y軸の+方向にとり、その長さを a m とする。時間を t_s 、波長を L m、周期を T_s 、位相差を ϵ 、波向はx軸より反時計回りの方向に θ 、最大波高を H_{\max} m とすると波高 H m は次式で表現できる。

$$H = \frac{H_{\max}}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x \cos \theta + y \sin \theta}{L} - \frac{t}{T} + \epsilon \right) \quad (27)$$

時間 $t=0$ のとき原点0の観測点で波高は最大であり、この最大波高がx軸上の観測点とy軸上観測点を通過する時間をそれぞれ t_x 、 t_y とすると次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= 0 \\ \frac{c \cos \theta}{L} - \frac{t_x}{T} + \epsilon &= 0 \\ \frac{a \sin \theta}{L} - \frac{t_y}{T} + \epsilon &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

波高 H_{\max} と周期 T は1点観測、例えば原点0の観測値より直ちに求められる。従って、波浪の性質を知る上で必要な他の値は(28)式より次のように求められる。但し、 c は波速 m/s である。

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta &= \frac{t_y}{t_x} \\ c &= a / \sqrt{t_x^2 + t_y^2} \\ L &= cT = aT / \sqrt{t_x^2 + t_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

上述の3点観測法を波浪観測に採用するならば、波浪の科学技術はさらに急速に発展するであろう。

ii) 波力発電装置の改良工夫

比較的に大型波力発電に適していると思われる電研発案の2水槽式波力発電装置に関する実験は行なわれていない。従って、この形の最適設計を行なうためには様々の実験、研究を必要としている。その主だったものをあげると次の通りである。

- 1) 波圧に耐え、長期間波浪の流入、流出に敏捷に応じることのできる弁の開発。
- 2) 最適奥行き δ を決定し、波高に応じて最大出力となるよう使用水量を決定する方法の確立。
- 3) 低落差で落差および使用水量の変動の激しい波力発電に適した水車ランナーの開発。
- 4) 変動する出力に適した発電機の採用。
- 5) 海水による腐蝕、海棲動・植物の付着などに対する対策。
- 6) 波高・周期、波長などに応じた最適制御装置の開発。
- 7) 波力エネルギーの利用率の高い積み重ね形浮遊式大波力発電装置の開発。
- 8) 上記、観測・実験・研究に基づいて科学的波力発電装置の設計基準の確立。

9. おわりに

波浪ならびに波力発電に関する筆者の知識は極めて貧弱なものである。しかも、波浪のもつエネルギーを電源の対象として正面から取り上げ、その経済性を論じた文献は浅学のせいかも知れないが未だに見ていない。加えて、波力発

電に利用しようとする波高の高い波浪、専門用語では有限振幅波と称しているが、この波浪の現在の解は極めて複雑で波力エネルギーの概算に使うには不便なので、若干強引とも思われる簡略式を用いて計算した。

波力発電専用の装置では当面 kWh 当り 20~30 円と考えられるので、離島など特殊な条件の地点以外では直ちには実用化が困難である。しかし、波浪は質は悪いがかなり大きなエネルギー源であることには間違いないし、将来何らかの条件で他のエネルギー源のコストが急騰した場合には採算がとれるようになる。ただそのような条件をまつのではなく、四囲を海で囲まれている日本では、積極的に波浪に関する観測、実験、研究を強化し、コストの低下を通して波力発電の開発に努力する必要がある。

波力エネルギーは質的に不安定なものであり、波力発電を商業的に行なう場合は、蓄電装置、例えば揚水発電との組合せなどが必要であるが、波浪の時間的变化など、この分析に必要な資料が、手元になかったこともあって、今回の報告書ではこの分析は行なわなかった。

なお、この報告書をまとめるに当たって、電研の我孫子、喜多見、特に、東亜港湾工業(株)などに勤務する多数の方々に大変お世話になったことに対し厚く御礼を申し上げる。

参考文献

- 土木学会編 「土木工学ハンドブック、上巻」(昭49)、技報堂
 物部 「水理学」 改定第5刷、(昭26)、岩波書店
 鈴木晴之 「海洋を利用する発電方式」日本機械学会誌、第75巻、第648号、(昭48.12)
 益田善雄 「波力発電について」電気協会誌、昭49.10月号
 高橋 他2名 「波浪に関する拠点観測年報(昭48)」港湾技研資料 No. 209. Mar. 1975.
 阿部友三郎 「海水の科学」日本放送出版協会(昭50.5.1)

(ほんま ひさを 技術経済研究部)