

波力利用電着技術に関する研究

續辰之介 *1 工藤君明 *1 安田哲也 *1
本多牧生 *1 大西 毅 *1

波浪エネルギーを利用した波力利用電着技術は、波浪制御技術との組み合わせによって海域制御構造物をその場所で経済的に構築できる利点を有している。

本報告では、海域実験において変動電流を用いた電着物の特性を明らかにするとともに、海域実験に供した実験装置の波浪エネルギー吸収性能に関する水槽実験結果について述べる。

- (1) 電着量は積算通電量の増加に伴い増大する傾向が認められる。
- (2) 電着物の組成分析から、軟質・硬質の電着物が発電出力の変動に応じて層状に形成されるフェージング効果が表われている。
- (3) 水槽実験によると、海域実験用空気室堤体は低波高時から波浪エネルギーを吸収する特性を有するとともに、広い周期帯においてほぼ一定の吸収効率を有することがわかった。

Utilization of Electrodeposition from Wave Power

Tatsunosuke TSUZUKU*2, Kimiaki KUDO*2, Tetsuya YASUDA*2
Makio HONDA*2, Takeshi OHNISHI*2

In order to utilize the Japanese coastline facing the open ocean to improve marine productivity, technologies to control the high waves, to use its energy efficiently and to construct inexpensive, safe marine control structures are required.

JAMSTEC is engaged in the R & D of construction technology for marine control structures using electric current generated from wave power and the resulting electrodeposition.

This paper describes the results of an open sea test which was begun in August 1987 at the offing of Yura fishing port, Yamagata prefecture. In this test, characteristics of direct current density, total quantity of electricity, output power, quantity of electrodeposit and quantitative analysis of electrodeposit were clarified.

Furthermore, results of a tank test to estimate output air power using a model test (1/7.5 scale of the actual unit) are described. This test was carried out under conditions of regular waves.

*1 海洋開発研究部

*2 Marine Research and Development Department

1. はじめに

近年、沿岸海域を総合的に利用する構想が国及び各地方自治体等において計画され、これの実現に向けてさまざまな検討が進められている。沿岸海域を有効に利用するうえで波浪・漂砂・流動等の制御は基本的な共通技術で、これらを制御することにより海洋の環境をより望ましい姿に変換して海洋空間の有効利用を図ることが可能ならば海洋の生産性を飛躍的に向上させることが可能となる。この中心となるのが海域制御技術の研究開発である。本計画では内湾に比べてはるかに広大であり、海洋環境が厳しく、生産性が低い沿岸域の外海に面した開放性海域を対象とし、この海域の空間の有効利用及び海洋保全を図ることにしている。

これに応えるための技術開発として波浪集中消波技術及び人工サンゴ礁造成技術などの研究開発を実施することとしている。具体的には沖合から入射してくる波を集中させるために海面下に設置した没水平板構造物、集中させた波浪エネルギーを吸収することにより広域かつ経済的に静穏海域を造成する波浪集中消波技術、そして集中した波浪エネルギーを電力に変換し、電着技術を利用して構築される各種海域制御構造物から成っている。研究開発では小型模型実験等により、波浪集中消波技術と波力利用電着技術のフィージビリティを確立し、実海域において実用化実証試験を行うことを目標にして、昭和61年度から研究開発に着手している。

波力利用電着技術は波浪エネルギーを電力に変換し、これを電力源とする電着技術により海域制御構造物を構築させることによって海域制御を行うことを目標としている。本報告では波力利用電着技術の概要について述べるとともに、水理模型実験によって得られた波浪吸収特性及び地先海域における波力利用電着実験で得られた知見について報告する。

2. 波力利用電着技術

電着技術は海水中に溶存している Ca^{2+} イオンや Mg^{2+} イオンを低電圧の直流電源により陰極面に無機系物質 (CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$) として析出させ、コンクリート状の構造物を海水中に形成

する技術である。このための電源は、従来商用電源による一定の電流負荷が多く、電着形成物の量や組織等はこの電流密度の強弱の影響を受けるとされている。すなわち、電着物の主成分である CaCO_3 と $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の組成比は低電流密度では CaCO_3 の割合が高くなり、高電流密度では $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の割合が高くなる傾向を示す。また、電着物の硬さ、曲げ強さも低電流密度で析出した CaCO_3 の多い電着物では高く、反対に高電流密度で析出した $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の多い電着物では低いという性質がある。さらに、電着には直流の微弱な電圧 (10 V以下) があれば十分であり、周辺環境に悪影響を与えることがないなどの特長がある¹⁾。

一方、本計画では自然環境条件が厳しい開放性海域における海域制御を目標にしており、波浪、流れの対策が重要な課題である。このためには沖合に展開される各種海域制御構造物が必要となる。従って、大型の海域制御構造物を沖合で造成・施工するためには送電の困難性や省エネルギーの観点からローカルエネルギー (本計画では波浪) の利用が不可決の条件となっている。また、これに伴い変動する電力を制御したり、構造物形状に合わせて電流密度を制御したりするシステムを開発する必要がある。

波浪エネルギーを利用した電着技術の特長は次のとおりである。

(1) 沖合で大型の海域制御構造物を現地で容易に構築・施工することができる。

(2) 波浪エネルギーを活用する本技術は装置費・維持費が安く、しかも一基のパワーユニットで定期的に電着構造物を造成できるため、これらの構造物を波浪や流れの制御、漂砂防止、人工魚礁あるいは人工藻礁などとして、多様にしかも経済的に利用できる。

(3) 電着物の形成は電流密度が変動 (発電出力の変動) すると、その形成速度及び組織に影響を与えることになるが、フェーシング効果 (軟質・硬質の電着物が発電出力の変動に応じて層状に形成される) が期待できることから、強度の高い電着物を比較的短期間に形成できる可能性がある。

このような特長を有する波力利用電着構造物の活用方策及びその効果は次のような点が考えられる。

(1) 没水平板による波浪集中消波技術と組合せることにより開放性海域の有効利用及び海洋保全が図られ、海洋の生産の向上が期待できる。

(2) これに伴う他の海洋開発分野への波及効果(水産増養殖施設の構築、港湾構造物の防食効果)が期待できる。

(3) 電着工法は金網を陰極とすることを特徴としているので、海域の制御の目的あるいは海域の特質を考慮した海域制御構造物を構築でき、省資源・低コストの海域制御が期待できる。

本研究開発では、波力利用電着技術の確立を目標にして昭和61年度から3箇年計画で基本特性を明らかにするため、地先海域で小型波力発電装置を設置して海域実験を実施している。各年度ごとの目標は次のとおりである。

昭和61年度：実験装置類の設計及び据付

昭和62年度：変動電流と電着量・組成との関係を調べ、出力コントロールシステムの検討を行う。

昭和63年度：出力コントロールによる電着物の均一化の技術開発及び自動通電制御システムなどの電着施工システムの検討を行う。

また、第2段階として海域制御の効果を実証するために実施する大規模な海域制御構造物による海域実験の中で、波力利用電着技術の実用化を目指した実海域実証研究を実施する予定である。

波力利用電着技術では、まず波浪エネルギーを吸収し、これを電力に変換する波力発電装置としての性能と、この電力をもとに得られる電着物の特性などを明らかにする必要がある。そこで、本文においては海域実験に供している空気室の縮尺模型を用いて波浪エネルギー吸収性能などを調べた水槽実験結果について述べるとともに、地先海域における波力利用電着技術に関する海域実験の概要について述べ、さらに電着試験体の回収・分析によって得られた知見などについて述べる。

3. 波浪吸収特性に関する水槽実験

3.1 目的

海域実験用空気室堤体におけるタービン発電機の負荷として1/412.5のオリフィスを用いた。この値に設定した理由は、長周期波でもある程度

の波浪エネルギー吸収性能を有すること、また、低波高からも発電することによる。

そこで、実機の縮尺模型により以下の項目について調べることにする。

- (1) オリフィスの影響
- (2) 波浪エネルギー吸収効率の把握
- (3) 波高影響

3.2 実験模型

実験模型は図1に示すように実機の1/7.5とした。負荷は空気室上面に開口したオリフィスの面積を変えることにした。また、この上面にはニップルを取り付け、空気圧力を計測できるようにするとともに空気室内には容量式波高計を取り付け、内部の水位を計測できるようにした。

実験水槽は長さ40m、幅4m、水深2mの波動水槽で、実験模型は現地の防波堤側面に設置されているのと同様に、水槽壁に取り付けた。

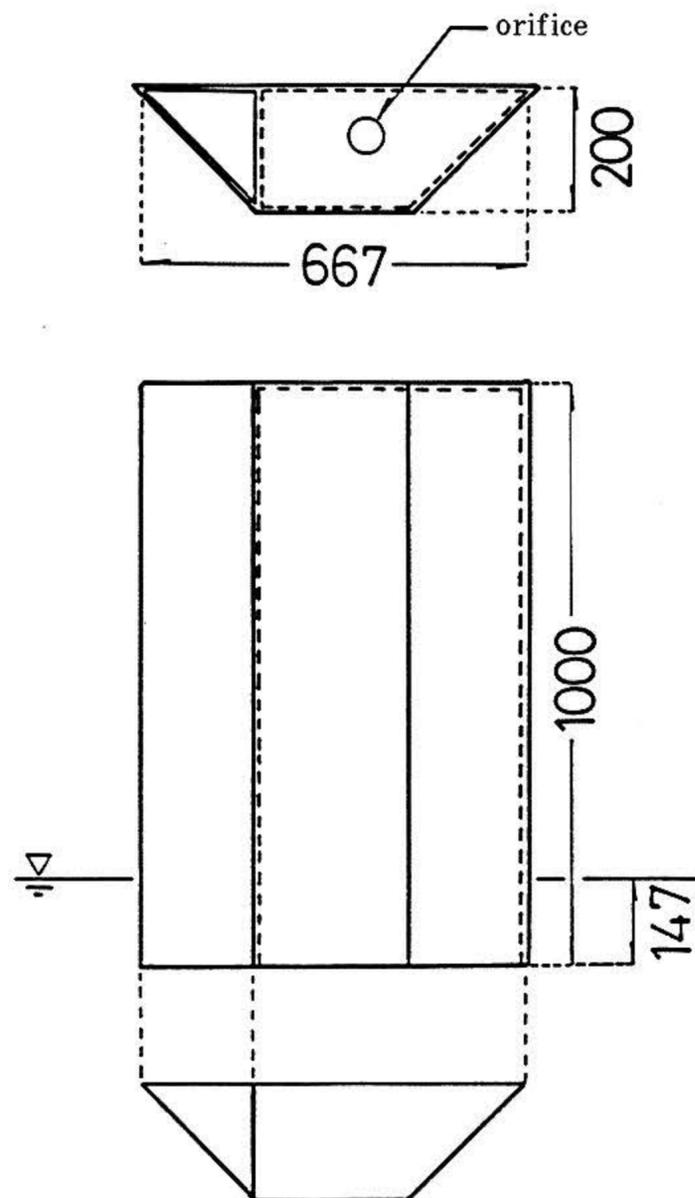


図1 水槽模型

Fig.1 Scheme of the model

3.3 実験条件

波周期を実機周期 2.5 秒～10 秒に相当する 0.9 秒～3.65 秒とした。波高は 5cm (実機 0.375m) を基準波高とし、オリフィス 1/412.5 の場合のみ 5cm, 10cm, 15cm も造波した、ただし、波高が高くなるにしたがい、造波可能な周期帯はせまくなる。なお、実験は規則波中のみで実施した。一方オリフィスは 1/80, 1/100, 1/150, 1/300, 1/412.5 とした。

3.4 計測方法

入射波は造波機から 10 m, 水槽幅の中央部で容量式波高計を設置して計測した。また、空気室内波高を容量式波高計により計測し、空気室内圧力はビニールチューブを介して圧力センサーにより計測した。

3.5 実験結果

3.5.1 オリフィスの影響

空気室上部のオリフィスを種々変化させた場合の波浪エネルギー吸収効率への影響について、波条件 (波高 5cm, 周期 1.388 秒) を一定にして調べた (図 2)。

本実験装置においてはオリフィスが 1/80 程度の場合に最も波浪エネルギー吸収能力が高いこと

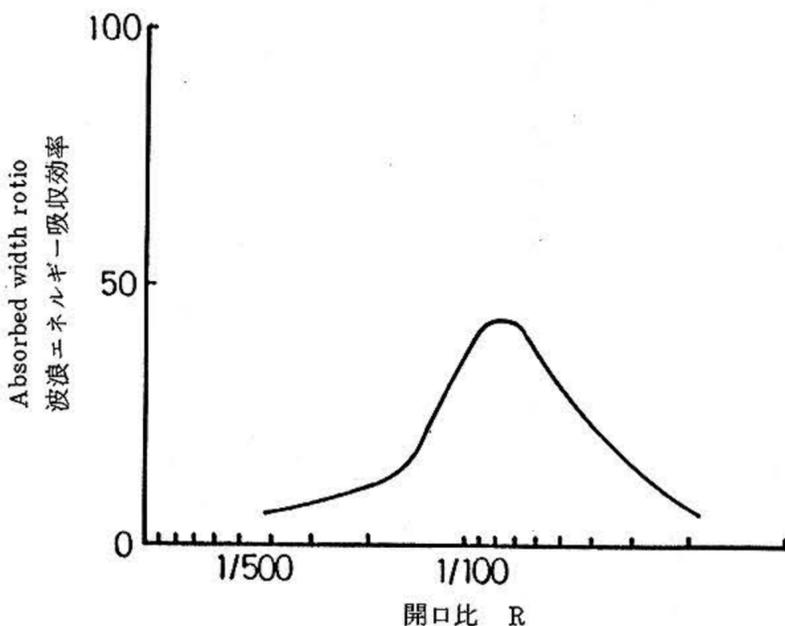


図 2 開口比による波浪エネルギー吸収効率

Fig.2 Effect by orifices for absorbed width ratio

$$R = \text{area of orifice} / \text{area of air room}$$

がわかる。しかしながら、最も吸収能力が高いオリフィス=最適なオリフィスとはならない。つまり、短周期から長周期まで広い範囲の周期帯で、しかも波高が小さくともある程度の吸収能力を有するオリフィスを選択する必要がある。また、使用するタービン発電機とのマッチングの問題もある。オリフィスが小さくなるにしたがい空気流量面積が小さくなることを意味しておりタービンをより小型化できる可能性を有している。

なお、実機で採用している 1/412.5 のオリフィスでは約 10% の波浪エネルギー吸収効率が得られることがわかった。

3.5.2 波浪エネルギー吸収特性の把握

基準波高 (5cm) で波周期を変化させた場合の空気室内波高、圧力を計測し、これから比波高 (空気室内波高/入射波高)、比圧力 (圧力変動の振幅の水頭値/入射波高) 及び波浪エネルギー吸収効率を求めた。

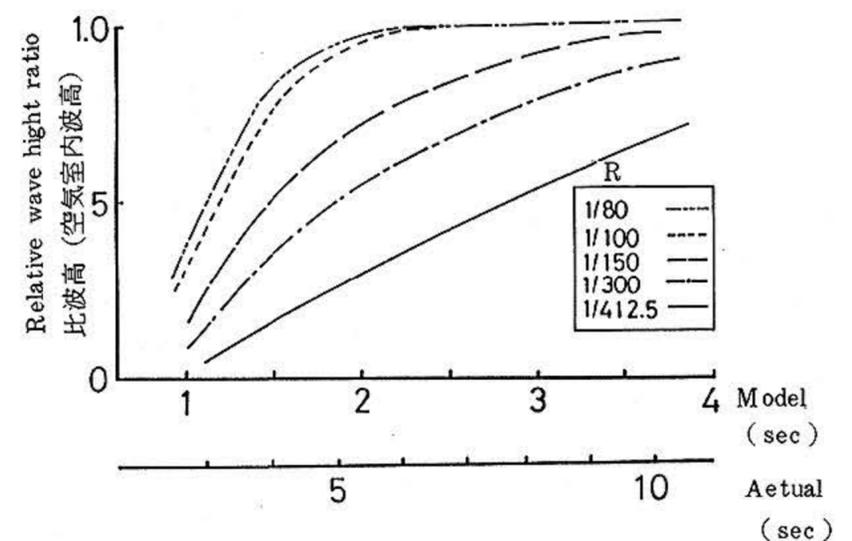


図 3 比波高特性

Fig.3 Characteristics of the relative wave height

図 3 に、比波高 について示す。これによると比波高はオリフィスが大きくなるにしたがって増加し、1/80～1/100 では模型周期で 2 秒付近で比波高 = 1.0 となっている。また、長波長になるほど大きな値となっている。

図 4 に、比圧力 について示す。これによると比圧力はオリフィスが小さくなるにしたがって大きく、これは比波高と逆の傾向を示している。特に 1/80～1/100 では模型周期で 2 秒以上になる

と比圧力は急激に小さくなり、一方、 $1/412.5$ では長周期の波でもほぼ一定の比圧力が得られている。

図5に、波浪エネルギー吸収効率を示す。これからオリフィスが $1/80$ のとき最も吸収効率がよく約40%となっている。また、オリフィスが大きいほど、吸収効率の極大値が明瞭に表われているが、 $1/412.5$ になるとほとんど極大値が見られない。しかしながら、特に長周期の波では、オリフィスが大きいと急激に吸収効率が悪くなるが、 $1/412.5$ では約10%の吸収効率が得られている。

本装置のような固定空気室において、オリフィスを通じて流入する空気量は波周期、波高、オリフィスの面積、空気室面積に依存し、とりわけ、

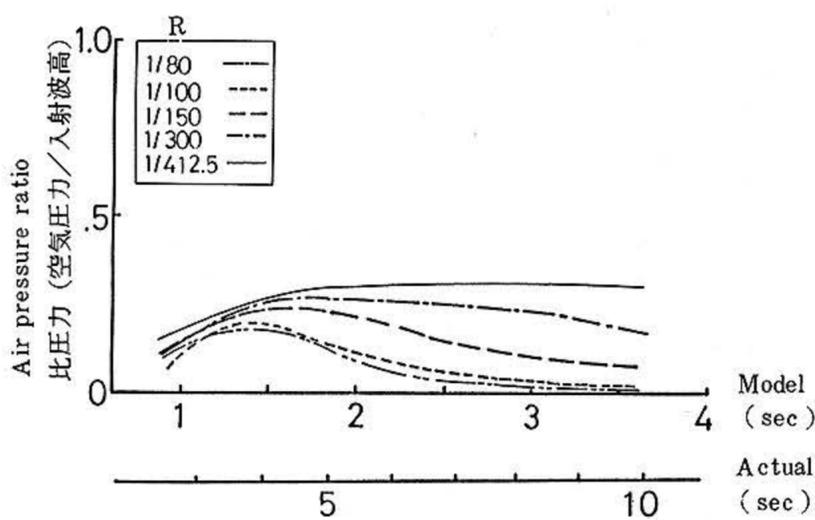


図4 比圧力特性

Fig.4 Characteristics of the air pressure ratio

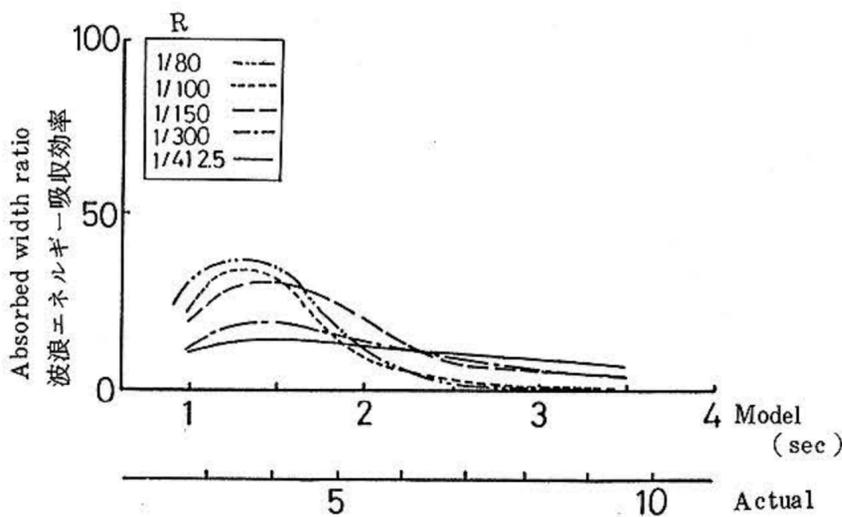


図5 波浪エネルギー吸収性能

Fig.5 Characteristics of the absorbed width ratio

オリフィス前後の圧力差の影響が大きいと考えられる。たとえ波高が同じであっても長周期の波では、オリフィスが小さい方が、オリフィス前後の圧力差が大きくなるため吸収効率がアップするものと考えられる。

以上のことから、実機で採用したオリフィスは、短周期の波から長周期の波まで平均的に波浪エネルギーを吸収する特性を有することがわかる。

3.5.3 波高影響について

オリフィスを $1/412.5$ にして、波高を5cm, 10cm, 15cmと変えた場合の比波高、比圧力及び波浪エネルギー吸収効率をそれぞれ図6, 図7, 図8に示す。これから、波高が小さいほど比波高が大きく、比圧力は波高が大きいほど大きくなる

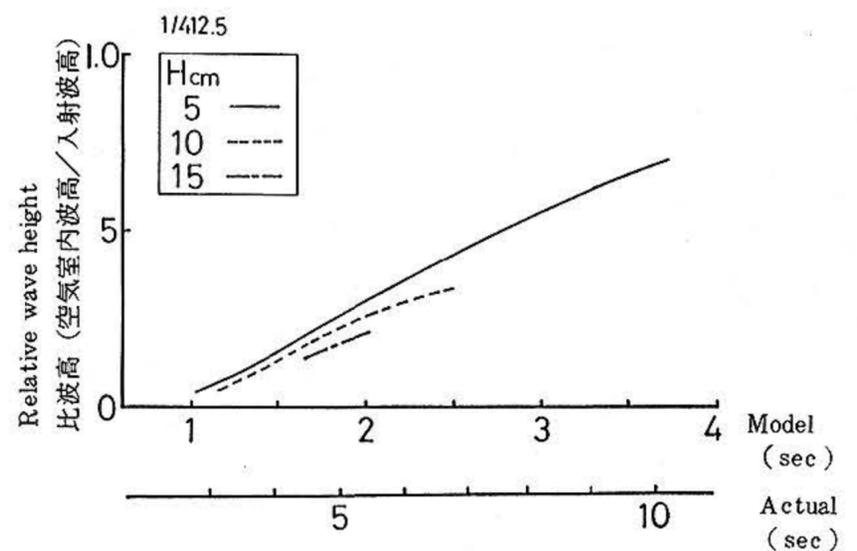


図6 比波高に及ぼす波高の影響

Fig.6 Effect of wave height for relative wave height

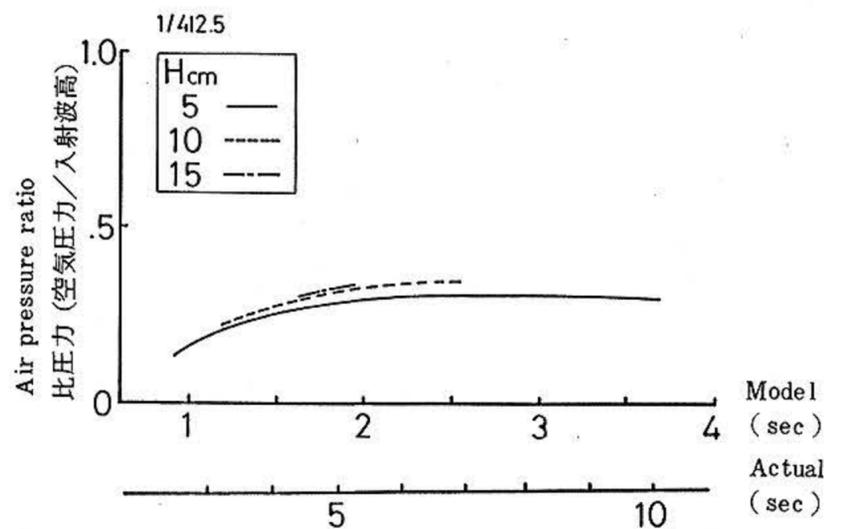


図7 比圧力に及ぼす波高の影響

Fig.7 Effect of wave height for air pressure ratio

傾向がある。波浪エネルギー吸収効率は波高の小さいほど良いといえる。これはオリフィスとの関係によるものと考えられるがより詳細な検討が必要である。

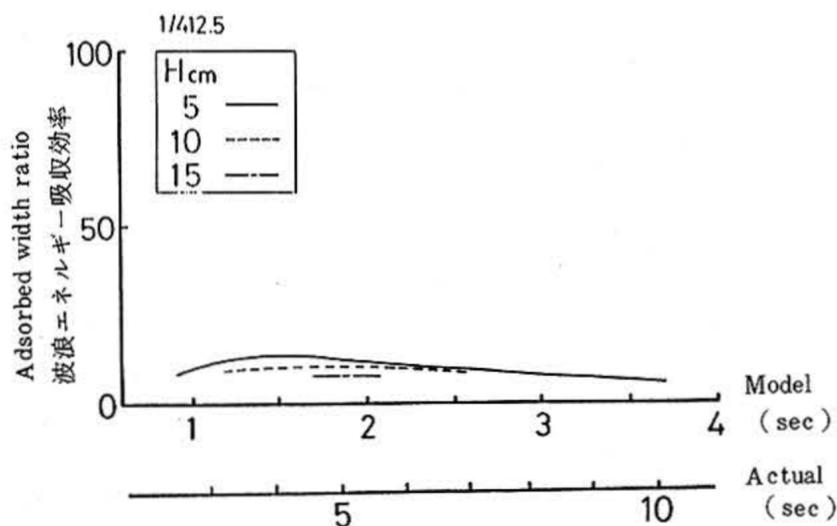


図8 波浪エネルギー吸収効率に及ぼす波高の影響

Fig.8 Effect of wave height for absorbed width ratio

3.5.4 まとめ

以上のことから、本実験装置では長周期の波までの広い周期帯で、しかも低波高から波浪エネルギーを吸収する特性を有することが確認できた。

4. 海域実験

4.1 目的

海域実験では以下の項目を調べることが目的とする。

- (1) 電着形成物の季節的变化について。
- (2) 変動電流による電着物の成長及び組成の変化について。
- (3) 出力パターンと電着物の関係から通電コントロールシステムについて検討を行う。

以上のことを調べるため、小型波力発電装置(定格 300 W)を搭載した空気室によって得られた波浪エネルギーを電力に変換し、変動する出力を直接電着試験体に供給する。この電着試験体を定期的に回収・分析を行うとともに出力等を求めることにする。

4.2 実験装置の設計

実験装置の設計にあたり考慮した項目は以下の

とおりである。

4.2.2 設計波浪条件

実験装置を設置する位置は図9に示すように山形県鶴岡市由良漁港北防波堤の港内側とした。この北防波堤は冬季の激浪方向の波浪から港を守るために設置されたもので、実験装置はこの波浪の直撃を避ける意味で防波堤の内側とした。ただし、構造設計のための波浪条件としては、この防波堤による波浪減衰効果は考慮しないものとし、防波堤の設計条件と同一にして、最大波高 9.1 m、周期 12 秒とした。また、設計水深(基準水深 6.5 m)は HWL に低気圧通過による水位上昇分を見込んだ 7.7 m と LWL 時の 6.85 m の両ケースを対象とし、水平外力が大きいものを採用することにした。

4.2.2 空気室堤体の形状

入射波を受ける面が垂直面になっていると、大きな衝撃波力をまともに受けることになるので、空気室入射波側形状を斜めにし、さらに喫水を小さく(1.1 m)することにより、波圧力及びモーメントを抑える構造にした。

4.2.3 設置方法

実験装置全体を一体とする箱型構造物とし、外力に対して重量のみで十分安定なものとするが、滑動を抑えるためにケミカルアンカーにより固着する。また、より安全なものとするために空気室堤体を防波堤側面にケミカルアンカーで固定する。

4.3 設計外力の推算

受圧する波力を軽減するために、空気室入射波側形状を斜めにし、波浪エネルギーは空気室底面を開放して取り入れる構造となっている。空気室の喫水を小さくすることは受圧面積を少なくし、水平波力や転倒モーメントを小さくすることが期待される。しかし、空気室下端が大波浪時に露出すれば、空気室は下から大きな力で突き上げられることになる。このような力(揚圧力)を推定する適当な方法が確立されていないので、実機縮尺 1/15 の模型実験を行ない明らかにした。実機相当の波高 5.4 m に対して

水平力 : 13.6 ton (37 ton)
 転倒モーメント : 70 ton-m (117 ton)
 揚圧力 : 16.3 ton

が得られた。ただし、() 内の値は水理公式集²⁾に掲載されているサンフルーの式による推定値である。

本実験では実験水槽の造波最大能力と測定精度等の関係から模型縮尺を決定したもので、最大波高5.4 m相当である。

そこで、設計波高9.1 m時における波力は、波高の2乗に比例すると仮定して求めると、

水平力 : 39 ton (68 ton)
 転倒モーメント : 199 ton-m (211 ton)
 揚圧力 : 46 ton

と推定される。これから、サンフルーの式による設計外力の推定値は実験値からの推定値よりも大きく安全側であることが確認できた。また、揚圧

力は約50 ton程度と見積ることができた。

4.4 システム構成

上記の設計方針に基づき製作した実験装置の主要寸法は、全高7.5 m (空気室高さは5 m)、入射波に対する空気室の幅1.5 mとなっている。また、喫水は1.1 mで空気室を上面から見ると、その形状は逆台形状()となっている。

波浪は開口した空気室下端から入射し、空気室内で水柱の上下運動となり、空気室内の空気を上下させることになる。この空気流は弁の作用により小型タービン発電機を一定方向に回転させ、この結果電力に変換される。

この変動する電力は、直流電源装置により交流から直流に変換されて、実験装置近傍の海底に設置された電着試験体に通電する。

電着試験体は約4トンのコンクリートブロック

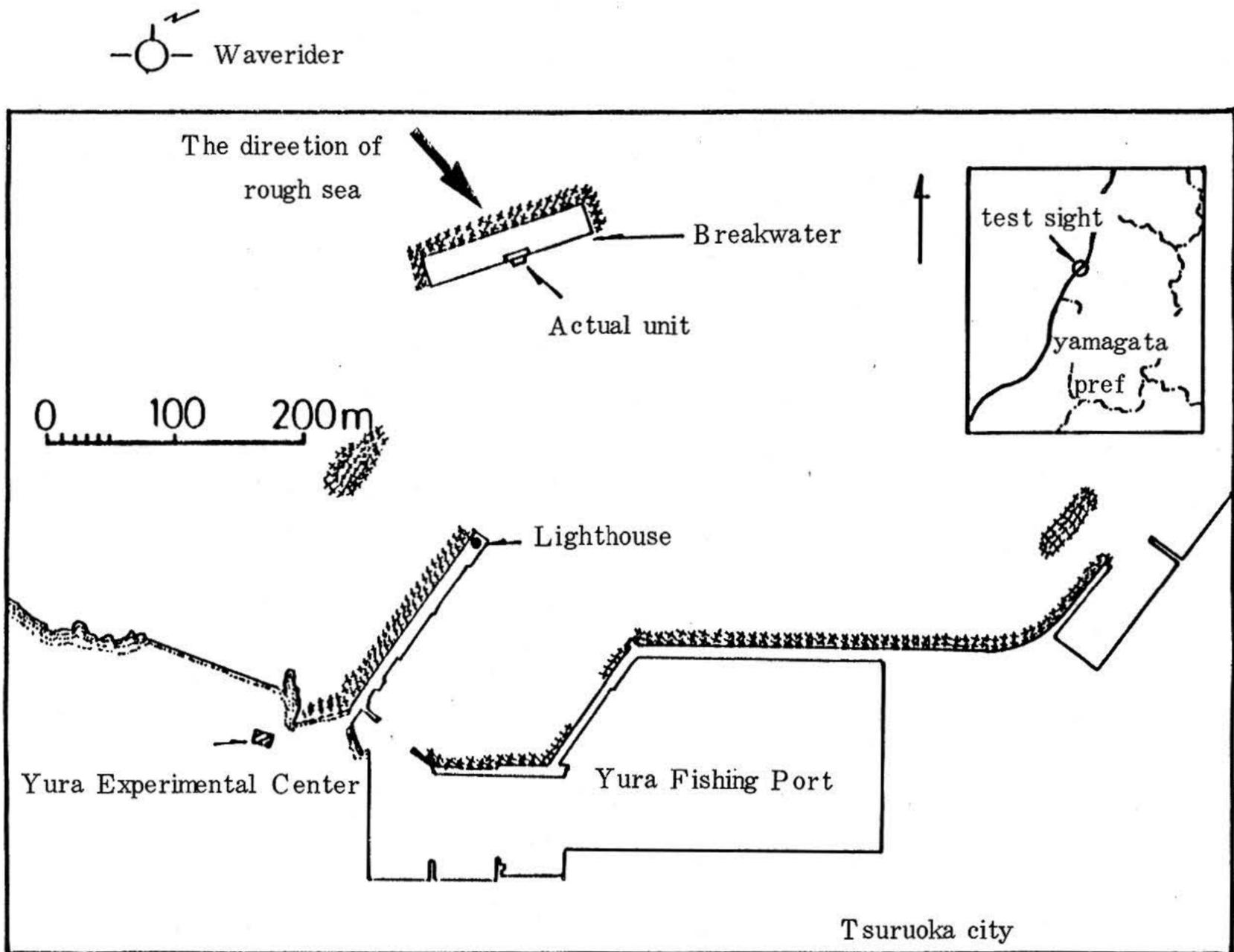


図9 実験海域
 Fig.9 Test site

の中央部にチタン系合金の陽極（幅 100 mm × 長さ 1500 mm）を設置した。また、陰極は直径 6 mm の鉄線で、これを幅 900 mm × 長さ 1800 mm、ピッチ 30 mm の格子状の平板パネルと、段階的な経過を調べるためのテストピース（直径 6 mm × 長さ 800 mm の鉄線）を 20 本取り付けた。

また、この電着試験体には入射波を測定するための水圧式波高計（TD 400：豊田工機（株）製）を 1 基設置した。

なお、直流電源装置、計測器等の電源は、自動車用バッテリーを用いた。

写真 1 に防波堤に設置された実験装置及び図 10 にその概要を示す。

4.5 計測項目及び分析方法

計測項目としては、(1)入射波、(2)電流、(3)電圧の 3 項目を計測することにした。記録器はカセッ

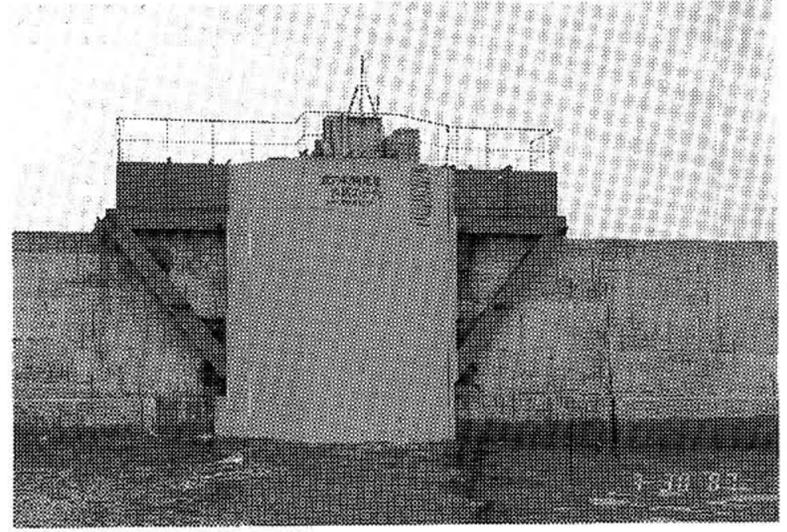


写真 1 波力利用電着実験用装置

Photo.1 Unit of electrodeposition utilizing of wave power

ト式データレコーダ（HR-10：テイアック（株）製）で、これは低速で長時間記録可能で消費電力も少ない利点を有している。また、なるべく長期間のデータを取得するとともに、バッテリーの消

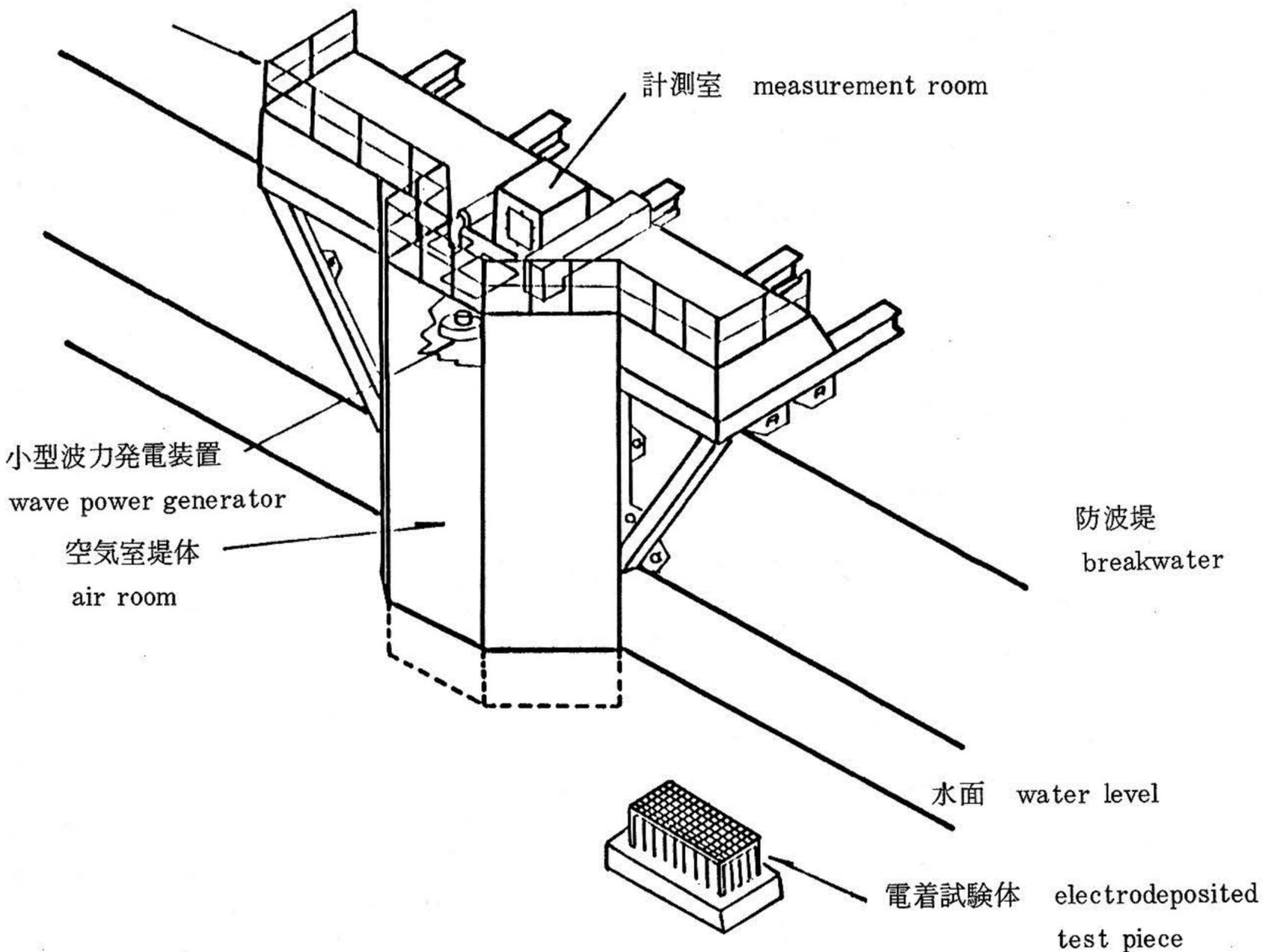


図 10 実験装置の概要

Fig.10 System of electrodeposition utilizing of wave power

費を極力抑えるためタイマーを組入れて、1日4回(6時間ごと)15分ずつ計測するようにした。

一方、電着試験体はテストピースを原則として月1回の割合で、ダイバーによって回収することにした。なお、この時海中における状況や通電ケーブルの様子も合わせて調査することにした。

データレコーダに得られた記録は記録ごとに、入射波は統計量(最大波高, 最大周期, 有義波高, 有義周期)を電流・電圧から発電出力を算出した。さらに、電着物の組成に影響を与える電流密度(電流値/陰極素線の表面積)や実験期間中の総通電量を求めた。

回収された電着試験体はノギスで電着物の厚さを計測したのち、組成分析(定量分析)を行った。この方法は日本工業規格(JIS)のK(化学)に準拠して行うものとする。また、適宜、ビッカース試験法による硬さ測定、電着物の組織を調べるため走査型電子顕微鏡による観察及びマイクロアナライザーによるCa, Mgの面分析を行うことにしている。

4.6 実験結果と考察

実験装置の設置後、1987年4月16日から通電を開始した。ここでは、9月末までの169日間の期間中、電着試験体を4回収したのでこの結果について述べる。

4.6.1 発電特性

169日間のうち発電出力が得られた日数は51.75日で約30.6%となっている。この時の有義波高に対する発電出力の関係を求めたのが図11である。これによると、発電出力が得られるのは有義波高0.5m程度からであり、比較的低い波高から発電することが確認された。また、出力はおよそ波高の2乗に比例する傾向が認められる。

4.6.2 変動電流と電着物

電着試験体のテストピースを計4回収した。表1に電着物の平均付着厚さ、組成分析(CaCO₃, Mg(OH)₂)及び各回収日までの平均電流密度(mA/cm²)をまとめて示す。

電着物の平均付着厚さは時間の経過に伴って増加する傾向がある。この期間で約2.1mmの電着

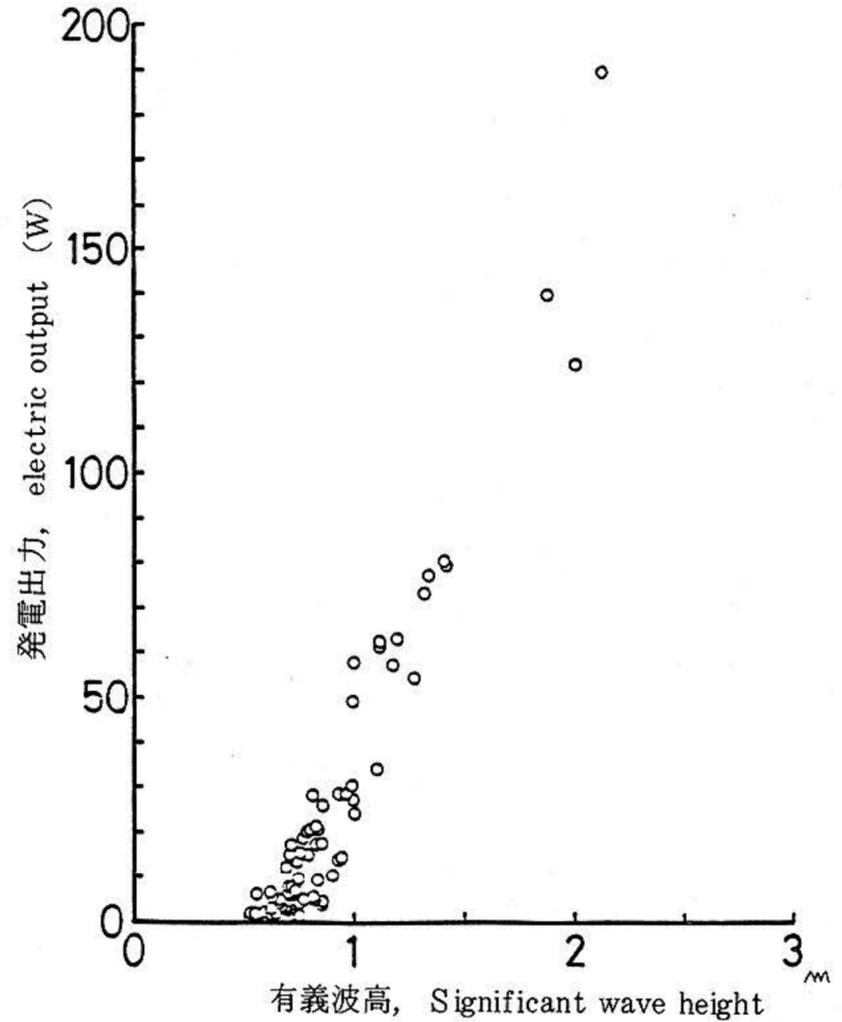


図11 有義波高に対する発電出力特性

Fig.11 Characteristic of significant wave height and electric output

表1 付着厚さ及び組成分析結果

Table.1 Result of film thickness, current density and quantitative analysis of electrodeposit

	第1回収	第2回収	第3回収	第4回収
回収月日	6/5	7/29	8/25	9/29
経過日数	52	106	133	169
平均電流密度	0.440 mA/cm ²	0.380 mA/cm ²	0.370 mA/cm ²	0.368 mA/cm ²
付着厚さ(平均)	1.20 mm	1.83 mm	1.87 mm	2.10 mm
CaCO ₃	29.29 %	30.02 %	33.66 %	40.46 %
Mg(OH) ₂	63.78 %	56.39 %	51.30 %	48.57 %
SiO ₂				1.27 %
Fe ₂ O ₃				0.58 %

物が形成されたので、これからテストピース1本当りの電着量を求め、これと積算通電量(電流×時間)との関係を示したのが図12である。なお、この図には組成分析から得られたCaCO₃とMg(OH)₂の組成比率をもとに各々の量も合わせて示した。

これから、電着物の量は積算通電量の増加に伴って増大する傾向が認められる。

電着試験体に一様に電着物が形成されたとして全電着量を求め、さらに電着率Kを全電着量/積

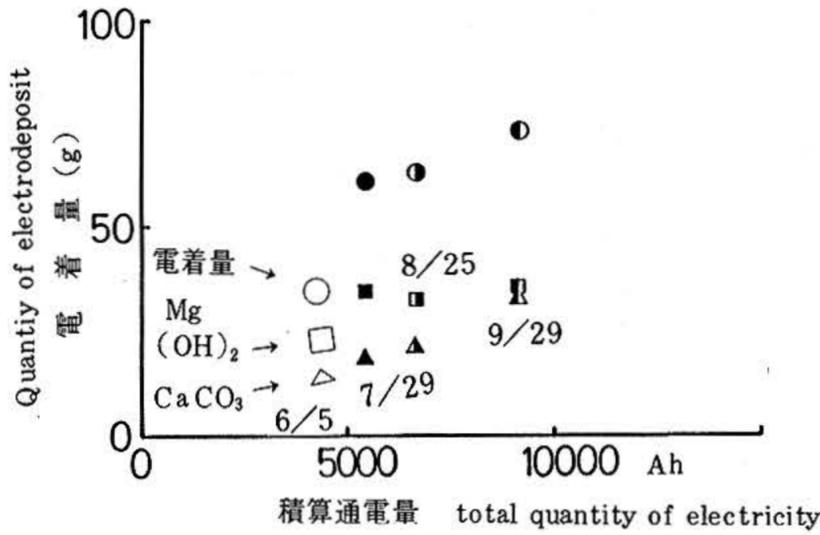


図12 電着量と積算通電量との関係
 Fig.12 Relation between quantity of electrodeposit and total quantity of electricity

算通電量と仮定すると、Kは、

$$K = 12.980 / 9.139 = 1.42 \text{ (g/Ah)}$$

と求められる。一方、商用電源での実験例では、1.67g/Ah(瀬戸内海)³⁾、2.21g/Ah(沖縄海域)⁴⁾となっている。これと比較するとやや低い。この原因として、本実験では発電出力は波浪に依存するため発電出力の得られない期間が存在し、成長の割合が鈍化するものと思われる。

一方、電着物の主成分はCaCO₃とMg(OH)₂であり、表1によれば、実験の初期の段階ではCaCO₃の占める割合がMg(OH)₂の占める割合より小さかったが、時間の経過に伴いCaCO₃の占める割合が増加している。電着物の組成比率は電流密度の影響を最も受けるとされている。そこで、各回収日までの平均電流密度をみると、実験当初は他の期間に比べて高く、徐々にではあるが低くなる傾向があることから、実験当初高電流密度であったため、Mg(OH)₂の析出が支配的になり、この結果軟らかい電着物が形成されたと考えられる。電着物の硬さ測定は電着物が測定に充分なだけ付着していないので測定していないが、各回収時に手で触れた感触では、当初非常に軟らかく、つぶれやすかったが、徐々に固くなっていることから推定できる。

4.6.3 電着物の組織

電着物(9月29日回収分)の表面を走査型電子

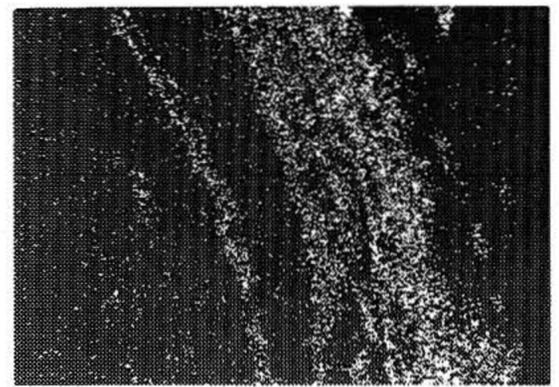
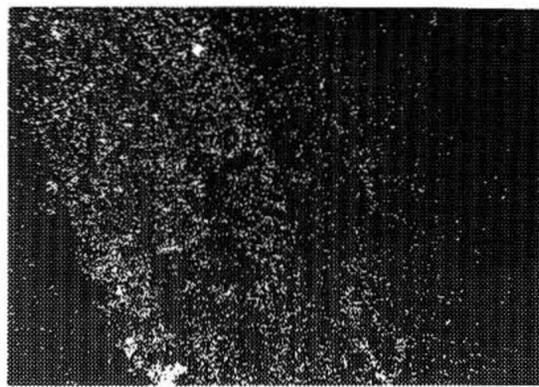
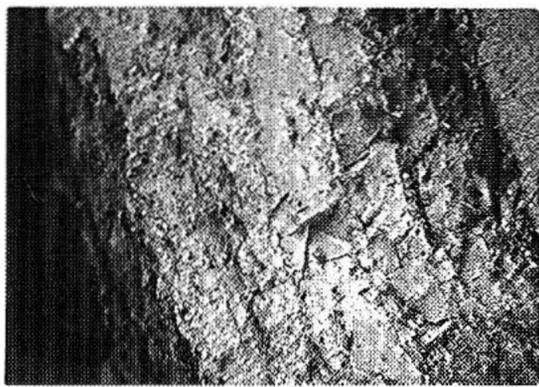


写真2 走直型電子顕微鏡による電着物表面
 Photo.2 写真(×44)

ESM image of electrodeposit's surface

顕微鏡を用いて観察した例を写真2に示す。これによると電着物にはところどころに空隙が見られるようである。電着物は電気化学反応の過程で発生する水素ガスを連続気泡として包含しやすく、特に、電流密度が大きいほど、この水素ガスの発生が顕著となるため電着が妨げられて減少し、電着物内部に空隙を生じるようになり軟弱な電着物が形成されるようになる。このことは波力など変動電流を直接供給する場合の課題となろう。

走査型電子顕微鏡においては成分分布を知ることができないので、マイクロアナライザーによる電着物断面のCaとMgの面分析を行った。その結果を写真3に示す。なお、①は電着物断面の拡大写真で、②、③は同一画面上のMgとCaの分布を示したもので、白い点が各成分の存在を示している。これらの写真によると、陰極である鉄線を中心にまずMg²⁺イオンがMg(OH)₂として析出し、次いでCa²⁺イオンがCaCO₃として析出し積層して行く傾向が認められる。つまり、電着物が年輪状に成長していくことがわかる。このことは電流密度の高低による変動に起因していると考えられ、波力利用による電着形成物の特長と考えられている、いわゆるフェーシング効果(軟質・硬質の電着物が発電出力の変動に応じて層状に形成される)が表われているものと考えられる。



(中心部)

(外側)

① 断面

② 面分析 Mg

③ 面分析 Ca

写真3 マイクロアナライザーによる電着物断面のCaとMgの面分析結果

Photo.3 EPMA image of Ca and Mg particles on the cross-section of electrodeposit

5. あとがき

波浪エネルギーを利用した波力利用電着技術の確立を目標にして、海域実験及び波力吸収性能把握のための水槽実験を実施した。

- (1) 電着量は積算通電量の増加に伴って増大する傾向が認められる。
- (2) 電着物は $Mg(OH)_2$ の多い軟質、 $CaCO_3$ の多い硬質をくり返し年輪状に形成されており、フェージング効果が表われている。これは電流密度の変動に起因する。
- (3) 通電当初、電流密度が高かったため組成比率では $Mg(OH)_2$ が多く、軟らかい電着物が形成されたが、電流密度が下がるとともに $CaCO_3$ が多く含まれるようになった。
- (4) 電着率は商用電源による実験例に比べてやや低い。これは発電出力を波浪の変動に依存するため当然の結果であろう。
- (5) 水槽実験によれば、本実験装置に採用したオリフィスは低波高から波浪エネルギーを吸収する特性を有するとともに、短周期から長周期の波まで広い周期帯で一定の波浪エネルギー吸収性能を有することが確認できた。
- (6) 今後の課題として、電流密度が高すぎると、軟弱で脆弱な電着物が形成されることが予想

されるので、電流密度をある一定値の範囲内に抑えるなどの通電コントロールについて検討する必要がある。

波力利用電着技術は用途も含め、未だ開発途上にあるので、継続的な海域実験を行い実用化に向けて研究開発を進める予定である。

終わりに、本研究開発を進めるにあたり三井造船株式会社の協力を得て推進していることを付記するとともに、関係各位のご協力に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 熊田誠・三浦健蔵・宮崎芳明・佐々木晴敏，1987，コーラル・プロセスによる海中構造物の形成とその応用．第2回波浪エネルギー利用シンポジウム，163～170．
- 2) 土木学会編，1981，水理公式集，土木学会
- 3) 熊田誠・藤岡稔・宮崎芳明・佐々木晴敏・1986．コーラルプロセスによる海藻場の造成．水産土木，22，(2)，19～23．
- 4) 山里清・中村英雄・友利昭之介・熊田誠・宮崎芳明・佐々木晴敏，1987，沖縄海域における電着構造物の製造とその応用．水産土木，23，(2)，21～24．

(原稿受理 1987年12月11日)