

着底型空気タービン式波浪発電装置について

On a Fixed Air-Turbine Type Wave Power Extractor

岩 井 勝 美*・前 田 久 明**・木 下 健**

Masami IWAI, Hisaaki MAEDA and Takeshi KINOSHITA

1. ま え が き

近年、波浪発電に関する研究の必要性がさげばれてから、多くの型の波浪発電装置が研究されてきた。そのうち、実用性が高いと考えられるものには、浮体のローリングを利用してエネルギー回収を行う Salter 式、浮体間の相対角変位を利用してエネルギー回収を行ういかだ式、空気の圧縮、膨張を利用してエネルギー回収を行う空気タービン式があげられる。空気タービン式は「海明」に代表される浮遊型と着底型に分けられる。

今回は、着底型の空気タービン式波浪発電装置について、浅海状態で、不規則波中におけるエネルギー吸収の基礎実験を行ったので以下に報告する。

2. 不規則波中理論

不規則波中の吸収パワーは、平均吸収エネルギースペクトルを $S\eta(\omega)$ 、エネルギー吸収係数を $\eta(\omega)$ 、負荷減衰係数を d 、負荷ばね常数を k 、入射波に対する内部水面変位の応答関数を L とすれば、

$$S\eta(\omega) = i\omega S_{P_i x_i} = \frac{1}{4} \rho g^2 \eta(\omega) \frac{(\sqrt{2S(\omega)})^2}{\omega} \quad (1)$$

$$\eta(\omega) = \frac{4\omega S\eta(\omega)}{\rho g^2 (\sqrt{2S(\omega)})^2} \quad (2)$$

$$d = R_e(S_{P_i x_i} / S_{x_i}) \quad (3)$$

$$k = \frac{1}{\omega} I_m(S_{P_i x_i} / S_{x_i}) \quad (4)$$

$$L = \sqrt{\frac{S_{x_i}}{S(\omega)}} \quad (5)$$

で求める。¹⁾ただし、 $S(\omega)$: 波スペクトル、 $S_{P_i x_i}$: 圧力と内部水面変位のクロススペクトル、 S_{x_i} : 内部水面変位スペクトル、 R_e, I_m : クロススペクトルの実部と虚部。

3. 波浪発電実験

3.1 不規則波の検討

本実験に先だち、実験に使用する不規則波についての検討を行った。

まず、平均波周期 1.2 秒、有義波高 9.66 cm で、時系

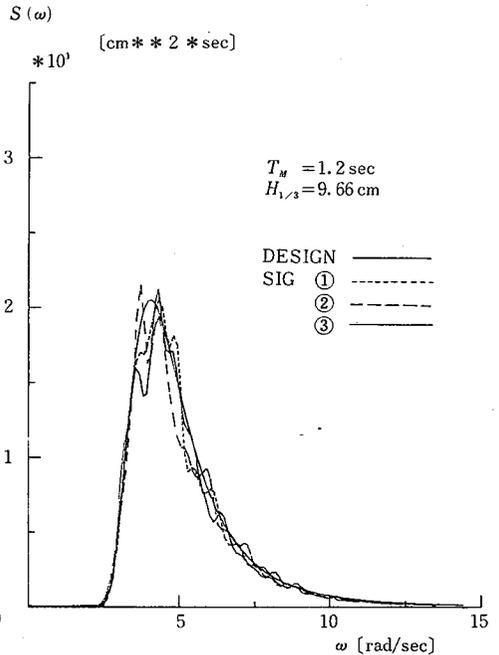


Fig-1 Comparison between design and signal spectrum (time series ①, ②, ③)

列の異なる 3 分 (サンプリングタイム 0.05 秒) のデジタル不規則波信号 (以後、信号という) を 3 本作製した。それぞれについて、スペクトルの形状とそれによって囲まれる面積を比較した。使用したスペクトル波は、ISSC スペクトル波で、次式で計算を行った。

$$S(\omega) = 0.11 H_{1/3}^2 \left(\frac{2\pi}{T_M} \right)^4 \omega^{-5} \times \exp \left\{ -0.44 \left(\frac{T_M \omega}{2\pi} \right)^4 \right\} \text{ m}^2 \cdot \text{sec} \quad (6)$$

$S(\omega)$: ISSC スペクトル

T_M : 平均波周期

$H_{1/3}$: 有義波高

ω : 円周波数

結果の一例を Fig-1 に示す。時系列の異なる 3 本の信号は、同じような形状を示しており、設計波ともほとんど一致している。面積は 3 本の信号ともほとんど等しい。

* 運輸省船舶技術研究所

** 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報

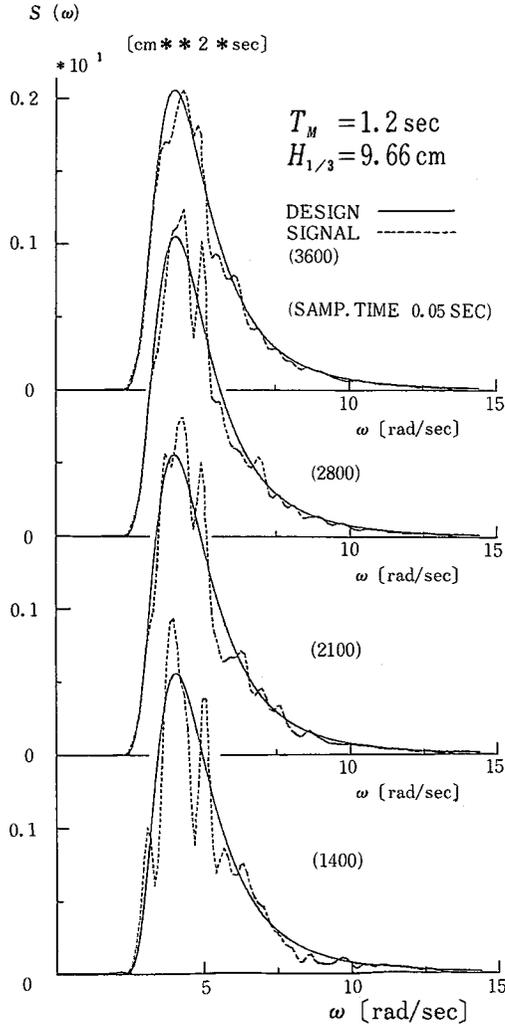


Fig-2 Comparison between design and signal spectrum (time series ①)

この程度の信号であれば、実験波として採用可能である。平均波周期 0.8 秒，有義波高 4.29 cm の信号についても，前述の方法で 3 本作製し，スペクトルの形状と面積を比較したが，同様な結果を得た。なお，図の $T_M, H_{1/3}$ は，設計波の設定値を表している。以後も同様にして表す。

次に，①の信号について，部分的にデータを取り出してスペクトルの形状の比較と面積の比較を行い，データ数によってどの程度の相違を示すかを検討した。Fig-2 に，サンプリングタイム 0.05 秒で，データ数 1400, 2100, 2800, 3600 についてのスペクトルの形状の比較と面積の比較を示した。図からは，スペクトルの形状はデータ数が多くなるにしたがって設計波に近い形状になっていく

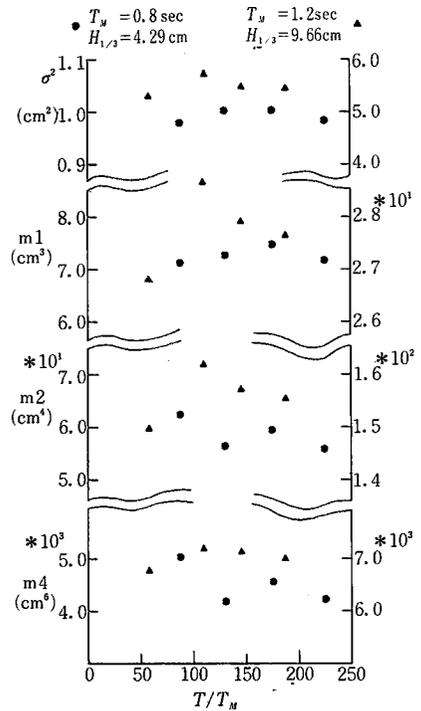


Fig-3 Scatter in dispersion and moment

様子が顕著に表れている。面積はほとんど変わらない。解析時には，無限にデータの数を増やすことができない以上，この程度的一致があれば入射波の信号として採用できる。平均波周期 0.8 秒，有義波高 4.29 cm の信号についても同様な結果を得た。さらに，それぞれの分散 σ^2 ，モーメント (m_1, m_2, m_4) についての比較を行った。Fig-3 にその結果が示してある。 σ^2 については $T_M = 0.8, 1.2$ ともにほとんど変化ないが，モーメントは多少の変化が出てくる。その変化が Fig-2 のスペクトルに影響し，わずかなバラツキとしてでていように思われる。($T = (\text{データ数}) \times (\text{サンプリングタイム})$)

次に，平均波周期 1.2 秒のスペクトルの両端から，面積で 3% の点の円周波数を ω_1, ω_2 とし，その 2 つの円周波でそれぞれ別々に造波させた場合の反射波の特性を調べた。Fig-4 は，水槽の長さを縦軸に取り，その時の造波時間を横軸に取ってその反射波の様子を表した。

3.2 不規則波の水槽特性

3.1 では，デジタル不規則波信号によるスペクトルと，その設計波スペクトルとを比較した。ここでは，この信号を使用し，実験時の水深 (40 cm) において，入射波としての不規則波の特性を調べた。波高計は 2 本で，本実験時に設置される模型の中心の位置と，その左側 42.5 cm の位置にそれぞれ設置した。解析は前述同様サ

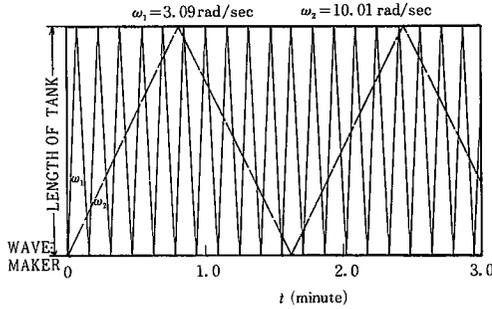


Fig. 4 Reflection wave in water tank

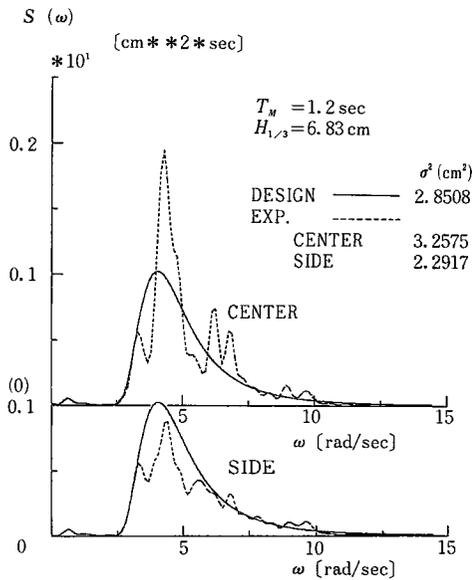


Fig. 5 Spectrum of incident wave

ンプリングタイム 0.05 秒, データ数 1400, 2100, 2800 について拡張された FFT 解析を行った。その結果の一例を Fig. 5 に示した。図は 2800 データの結果であり、前述の信号の段階で設計波と比較したものよりもずれが大きい。さらに計測位置によっても異なる結果がでていいる。図はあげていないが、データ数の違いによる比較でも、信号の段階で設計波と比較したものよりもずれがめだっている。その原因としては、①仮定した造波機の応答関数が正しく見積もられていなかった。②高周波側は造波機の性能に限界がある。③後述するように、浅海水槽として、仮設の底面を設け水深 0.4 m にしたため、その影響で波高が場所的に変化している。④ Fig. 4 に示したように、返り波の影響が考えられる。

3.3 実験方法

前述の不規則波を使用して、着底型の空気タービン式波浪発電装置について、エネルギー吸収実験を行った。

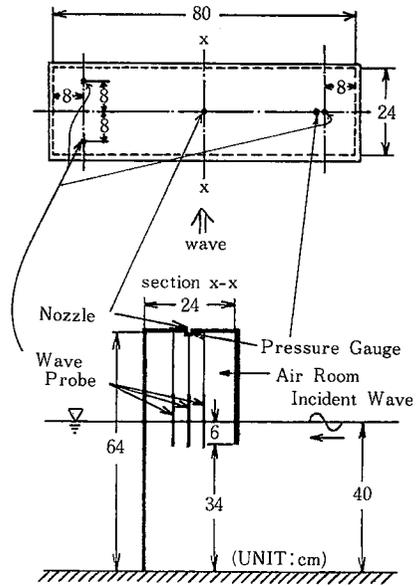


Fig. 6 Section of model

模型は Fig. 6 に示したように、波エネルギーを空気エネルギーに変換する空気室を持った箱型の波力変換装置である。水面下は波の入射方向のみ開口されていて、空気室天端には、空気エネルギーを取出すためのノズル（開口比 1/100）が開いている。空気室内には波高計を 3 本設置し、空気室天端には圧力計（豊田工機 AA 3300）を取り付けてある。波の進行により、室内の水面が上下動し、圧力が変化する。その時の水面と空気圧力の変動を測定した。実験結果の解析には拡張された FFT 法を用いた。このときのサンプリングタイムは 0.05 秒であり、データ数は 2800 である。ウィンドウには Q ウィンドウを用いた。そのとき、入射波としては、3.2 で述べた水槽特性実験時のデータ数 2800 の不規則波を使用した。実験は東京大学工学部船舶航海性能試験水槽で行った。水槽の主要寸法は、長さ 50 m × 幅 30 m × 深さ 2.5 m である。実験時には、浅海波として実験するために、長さ 20 m × 幅 10 m の仮設の底面を深さ 0.4 m に設置した。

3.4 実験結果および考察

実験結果を Fig. 7 から Fig. 10 に示した。Fig. 7 のエネルギー吸収係数は、かなり良好な値を示している。構造が単純で、エネルギーロスが少ないこと、装置の特性がワイドバンドであり、不規則波に対してもワイドバンドに波を吸収することができるためと考えられる。不規則波中実験値は規則波中実験値と比較して、おおむね一致している。さらに、等価浮体近似による理論値²⁾とも一致している。（規則波の波高は 4 cm であり、以後も同様

研 究 速 報

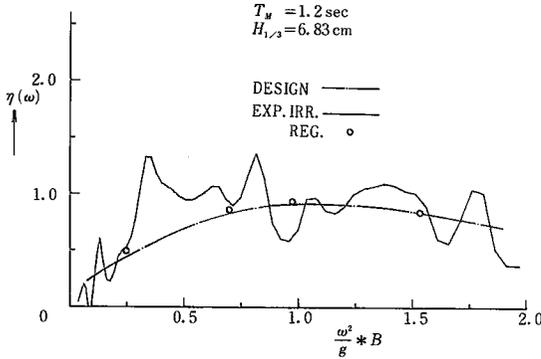


Fig.-7 Absorption coefficient

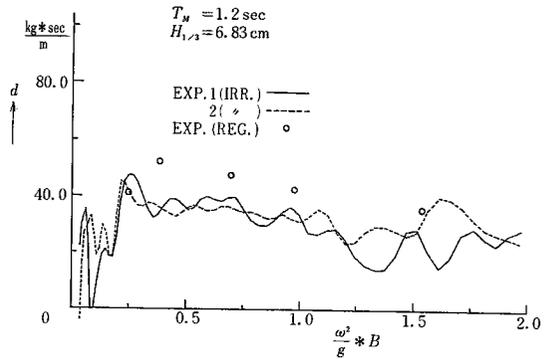


Fig.-9 Load damping coefficient

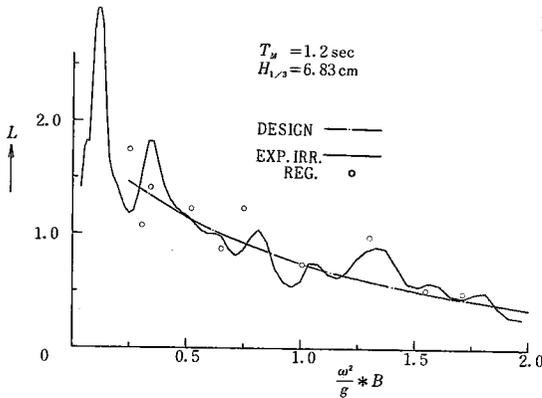


Fig.-8 Inner wave amplitude (absorbed)

B11-7

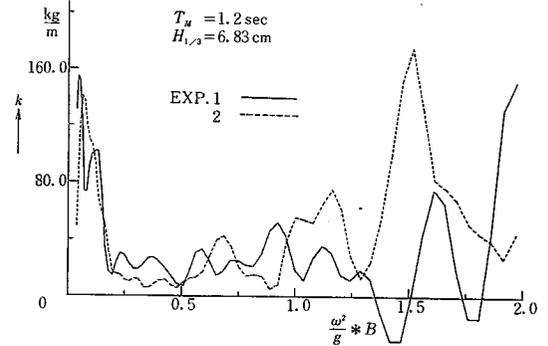


Fig.-10 Added spring constant

である.)

入射波に対する内部水面変位の応答関数は、Fig.-8 に示してある。これらの実験値はエネルギー吸収係数と同様に、規則波中実験値および理論値に良く一致している。

負荷減衰係数は Fig.-9 に示してあり、この実験の不規則波中の場合、40 kg・sec/m のあたりに落ちつくようである。規則波中実験値との比較ではやや低めにでている。

負荷ばね常数を Fig.-10 に示す。この図は、バラツキは大きいが一定の傾向を示している。一方、過去の規則波中実験の結果では、ばね常数の値は、計測誤差のため、計測不可能と考えられていた。今回の実験によって、不規則波中実験では、ある一定の傾向を示すことがわかった。以上の実験結果を総合的に考察すると、次のことが言える。

実験に使用した不規則波は、設計波と幾分か離れていたが (Fig.-5 参照)、空気タービン式波浪発電実験でのエネルギー吸収係数や内部水面変位の応答関数などでは多少のバラツキはあるものの、規則波中実験値と一致する良好な結果がでており、その値は、等価浮体近似による計算値²⁾ともほぼ一致する。また、不規則波中の実験値

は、規則波の実験値と一致することから、不規則波中の値は、規則波中の値から推定できる。

4. おわりに

今回、浅海状態で、不規則波中における、着底型の空気タービン式波浪発電実験を行った。その結果は前述のとおり、不規則波中での空気タービン式波浪発電装置の性能は、等価浮体近似による理論値を用いても、十分な精度で計算できることがわかった。しかし、負荷ばね常数については、今回の実験で一定の傾向をつかむことができたが、今後さらに精度を上げて実験を行って見る必要がある。

最後に、本研究を遂行するにあたり、大成建設宮崎弘志氏、日本大学理工学部増田光一講師、東京大学生産技術研究所前田研究室、木下研究室の職員、大学院学生に多大のご協力を賜ったことを深く感謝します。

(1982年4月23日受理)

参 考 文 献

- 1) 前田久明ほか：波浪発電装置に関する基礎的研究 (その2)，日本造船学会論文集，第149号 (1981)
- 2) 林 秀郎：「エアータービン式波浪発電装置に関する基礎的研究」日本大学修士論文，(1981)