

脚柱型離岸堤に付設する振り子式波浪発電装置の性能

Study on Performance of Pendular Wave Power Converter Attached to Detached Breakwater of Pillar Type

長谷川 寛也*・近藤 俣郎**・梅田 宏***・西牧 均****

Kakuya Hasegawa, Hideo Kondo, Hiroshi Umeda and Hitoshi Nishimaki

Pendular wave power converter developed in Muroran Institute of Technology has many advantages, for example, high efficiency, easy maintenance, and attachable to detached structure, etc. In the present study the converter attached to detached breakwater of pillar type has been tested with two-dimensional experiments. Reflection coefficient, transmission coefficient and conversion efficiency have been obtained, which show a character of point absorber.

Keywords : Pendular system, Wave power converter, Detached breakwater, Pillar type

1. はじめに

地球環境の劣化と地震災害時の大火災等が問題となっている今日、海洋エネルギーは周囲を海で囲まれた日本にとって大切なクリーン・エネルギー源であると考えられる。その中で、波浪エネルギーを利用可能なエネルギーへと変換するために、これまでさまざまな変換装置が開発されてきたが、室蘭工業大学では振り子式波浪発電装置を開発し、1978年より実験、研究を行ってきた。振り子式波浪発電装置は他の変換装置に比べてエネルギー吸収効率が高い、メンテナンスが容易、防波堤、堤防、護岸等の設置対象構造物を問わずに付設し易いなどの利点がある^{1)・2)}。これまで振り子式波浪発電装置は、防波堤、堤防などには連続的に設置することを想定している。しかし、離岸堤群に振り子式波浪発電装置を設置する時には離岸堤が群として用いられるので、発電装置もポイントアブソーバー列として用いられると考える。

本研究は、静岡県などで建設された新形式の脚柱型離岸堤³⁾に振り子式波浪発電装置を設置した場合の一次変換性能、波浪変形、波力などの特性を、第一段階として二次元水槽を用いた模型実験によって把握することを目的とする。脚柱型離岸堤に振り子式波浪発電装置を付設することで取得されるエネルギーは、水産、レクリエーションの他に、堤体支柱等の鋼製部分の電気防食、警告灯電源などで活用される。また振り子板は、隣接する堤体間に設置するものとする。

2. 実験装置

実験模型は図-1に示されるように、隣接した二つの堤体をそれぞれ中央で切断したものと、堤体間に設置予定の振り子板で構成され、実験水槽に合わせて現地の堤体の1/16.7の縮尺比で、図-2に示すように設置した。本実験で用いた水槽は、図-3で示される長さ24m、幅0.6m、高さ1.0mの二次元水槽で、一端に吸収式不規則波造波システム、他端に消波工を設置し、一様水深0.6mで実験を行った。模型前方には現

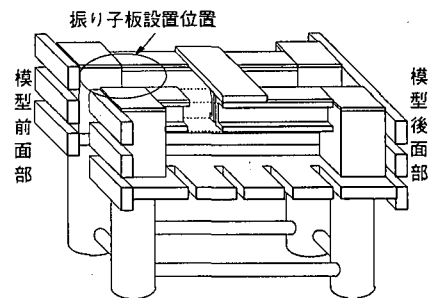
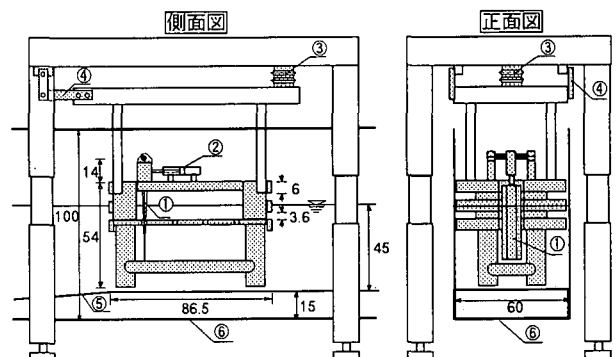
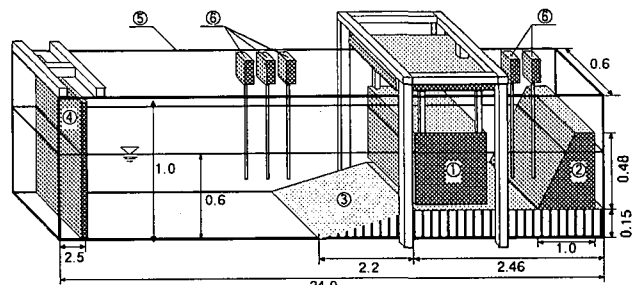


図-1 実験模型



① 振り子板 (10×36)、② 油圧シリンダー、③ 三分力計、(cm)
④ カンチレバー、⑤ 傾斜板 (1/15)、⑥ 二次元水槽

図-2 実験模型設置状況



① 実験模型、② 消波工、③ 傾斜台 (1/15)、④ 造波装置、(m)
⑤ 二次元水槽、⑥ 波高計

図-3 実験水槽及び実験装置

* 学生会員 室蘭工業大学大学院 (050 室蘭市水元町27-1)

** 正会員 室蘭工業大学工学部

*** 正会員 戸田建設株式会社

**** 正会員 戸田建設株式会社

地と同じ勾配（1/15）の傾斜台を設置，また入射波高，反射波高計測用に波高計を三本，模型後方には伝達波高計測用に波高計を二本設置した．また，模型上部に三分力計を設置して水平波力，鉛直波力の計測を行い，振り子支点下部には油圧シリンダーと変位計を連結しエネルギー吸収効率（一次変換効率）及び振り子の振れ角を計測した．

3. 実験方法

ここで述べる実験は全て，インターバルタイム40(msec)で2048個のデータを収集し，計測時間は約1分30秒で行った．入射波高，反射波高は合田の入射分離法を用いて計測した．

3-1. 波高分布実験

模型から振り子板を取り外した状態で，模型内部の波高分布を表-1に示す条件で計測した．波高計を振り子板設置予定位置の中心軸にそって模型前面から10cm間隔で設置し，それぞれの波高を計測し模型内波高分布を得る．この結果より，適切な振り子板の設置位置について検討し，今後の実験の基礎資料とする．

3-2. 振れ角実験

現在までの研究において，振り子式波浪発電装置は水室後壁から振り子板までの間隔を入射波の1/4波長に設定することで，最大効率を得られる事が確認されている．しかし，今回振り子板を設置する脚柱型離岸堤には従来の水室に相当する部分のない特殊な形状となっている．そのため，最大効率を得られる振り子板の設置位置を実験によって求める必要がある．そこで，実験模型に振り子板を設置して振れ角を計測し，振り子板の適切な設置位置を決定するための実験を表-2に示す条件で行う．

3-3. 負荷実験

振れ角実験で求められた振り子板の最適設置位置で，脚柱型離岸堤に振り子式波浪発電装置を付設した場合のエネルギー吸収効率を求める実験を表-3に示す条件で行う．また，同時にこのシステムの反射率，伝達率を計測し，離岸堤としての性能を確認する．

3-4. 水室実験

従来の浮上型振り子式波浪発電装置は波浪エネルギーをより多く取得するための手段として，水室内に振り子板を設置して実験を行ってきた．そこで，堤体間に後壁，側壁，底板を有する水室を設置して一次変換効率を測定し，水室を設置しない場合との比較を行う．また，水室の有無による反射率，伝達率の比較も行う．

4. 一次変換効率及び負荷比の算出方法

一次変換効率は，振り子幅当たりの入射波パワー W_I ，油圧シリンダーへと伝達される平均取得パワー W_s として次式のように定義する．

$$\nu = \frac{W_s}{W_I} \quad (4.1)$$

ここで，入射波パワー W_I は次式を用いる． E_R ：規則波の単位面積当たりの全エネルギー， c_g ：群速度， B_p ：振り子の幅， w_0 ：水の単位体積重量， H ：波高である．

$$W_I = E_R c_g B_p = \frac{1}{8} w_0 H^2 c_g B_p \quad (4.2)$$

また，平均取得パワー W_s は，計測した油圧シリンダー部の反力 F とピストンの移動変位 x を用いると，次のように表される． t ：サンプリング時間， n ：データ収集数を表す．

$$W_s = \frac{1}{t} \sum_{s=1}^n \left\{ \frac{F_s + F_{s-1}}{2} (x_s - x_{s-1}) \right\} \quad (4.3)$$

さらに，振り子の属性に関する負荷減衰モーメント係数 N_0 及び振り子に作用する流体力に関する造波減衰モーメント係数 N は次式で求められる．

$$N_0 = \frac{1}{t_0} \sum_{s=1}^n \left\{ \frac{(F_s + F_{s-1}) \cdot r_N^2 (t_s - t_{s-1})^2}{2 (x_s - x_{s-1})} \right\} \quad (4.4)$$

表-1 波高分布実験の実験条件

対象波	規則波
周期 T (sec)	1.0, 1.5, 2.0
波高 H (cm)	6.0
模型前面からの距離 (cm)	0, 10, 20, 30, 35, 50, 60, 70, 80, 90
計測項目	模型内波高

表-2 振れ角実験の実験条件

対象波	規則波
周期 T (sec)	1.0, 1.2, 1.4, 1.6
波高 H (cm)	8.0
模型前面からの距離 (cm)	0, 4, 8, 12, 14, 16, 20, 24, 28
計測項目	振れ角，水平波力

表-3 負荷実験及びケーソン設置実験の実験条件

対象波	規則波，不規則波
周期，有義周期 $T, T_{1/3}$ (sec)	1.0, 1.2, 1.4
波高，有義波高 $H, T_{1/3}$ (cm)	6.0, 8.0
計測項目	吸収効率，反射率，伝達率

$$N = - \frac{2\rho\sigma B_p(k_0 z_0 \sinh k_0 h + \cosh k_0 h - 1)}{k_0^4(k_0 h + \sinh k_0 h \cosh k_0 h)} \quad (4.5)$$

ここで ρ : 水の密度 ($=w_0/g$) , r_N : 振り子支点からシリンダー接続部までの距離, t_0 : 計測時間, σ : 角周波数, z_0 : 振り子の支点から水面までの距離, h : 水深であり, k_0 は次式から求まる固有値である.

$$\sigma^2 = g k_0 \tanh k_0 h \quad (4.6)$$

ここで, g は重力加速度である. さらに, 負荷比は N_0/N で求められる.

5. 実験結果及び考察

5-1. 波高分布実験

波高分布の結果を図-4に示す. まず, 模型前面部すなわちDISTANCE(D)=0(cm)の部分の波高に着目すると, 入射波高6.0(cm)に対してやや高い波高が示されている. これは, 模型前面の横スリット及び鉛直角柱部からの回折等によって波のエネルギーが集中したためと思われる. しかし, 模型前面からの距離が増すに従い波高は減少していき, 20(cm)を超えたあたりからはほぼ一定の値を示し, 模型後面のスリット部であるD=86.5(cm)付近でまた波高の低下が見られた. この現象は, 短周期の波ほどその効果が顕著に表れた. よって, 波のエネルギーの集中するD=0~20(cm)の間が最も効果的に振り子板を運動させる可能性が高いと予想できる.

5-2. 振れ角実験

a). 振れ角

振れ角の実験結果を図-5に示す. 波高分布実験で得られた結果からは, 波高が最大となる模型の最前面すなわちD=0(cm)の地点に振り子板を設置した場合に最大振れ角を記録すると予想されたが, 実験結果ではD=14(cm)付近で最大値を記録した. D=14(cm)は図-6に示されるようにちょうど前方の角柱の後部に位置し, 角柱部が入射波及び回折波のエネルギーを逃がさない側壁としての効果があったためと思われる.

b). 水平波力

水平波力の結果及びモリソン式による計算値の結果を図-7に示す. 水平波力の実験結果は, エネルギーの大きい長周期の波ほど高い値を示した. モリソン式による計算値は, 模型上部の横スリット部と下部の鉛直円柱部に分けて計算を行った. 横スリット部は複雑な構造のため一枚の壁面と仮定し, さらに模型前方と後方との位相差, 横スリット部と鉛直円柱部との位相差も考慮した. 実験値と比較すると, 周期の差による値の傾向が良く示されている.

5-3. 負荷実験

a). 規則波

図-8より最大の一次変換効率は, 今回行ったどの周期においても約45%となった. 従来の浮上型振り子式波浪発電装置を用いた場合, 最適条件で70%前後の値が得られることが確認されているが, 現在の模型には水室が設置されていないためこのような結果が得られたと思われる. 周期による最大効率の相違が少ない原因として, 後方消波板による反射波がほとんど存在

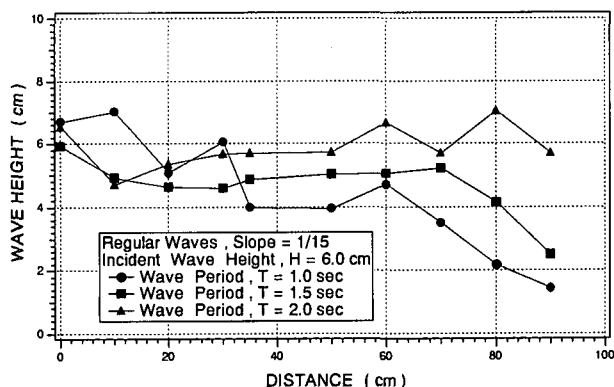


図-4 波高一模型前面からの距離

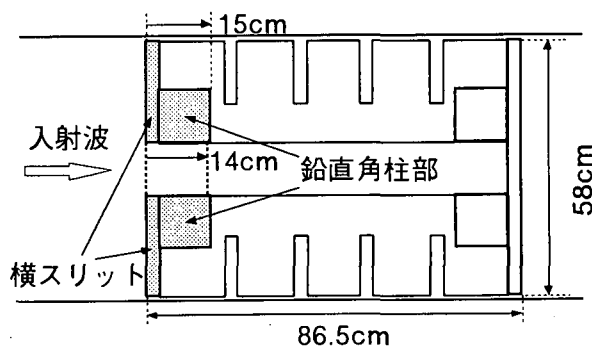
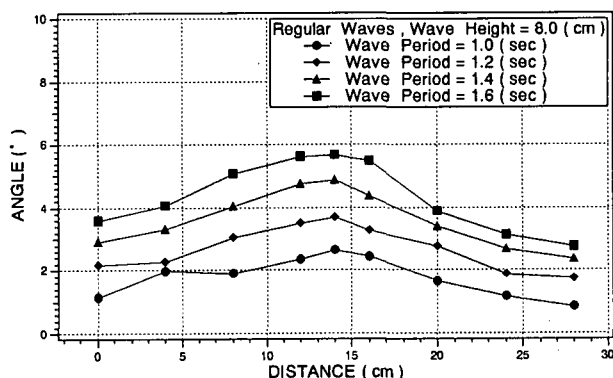


図-6 模型平前面

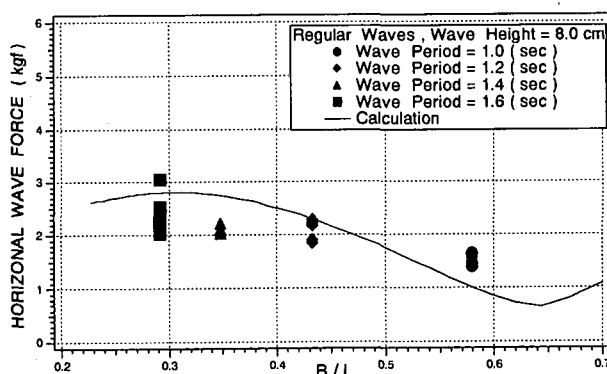


図-7 最大水平波力一周期

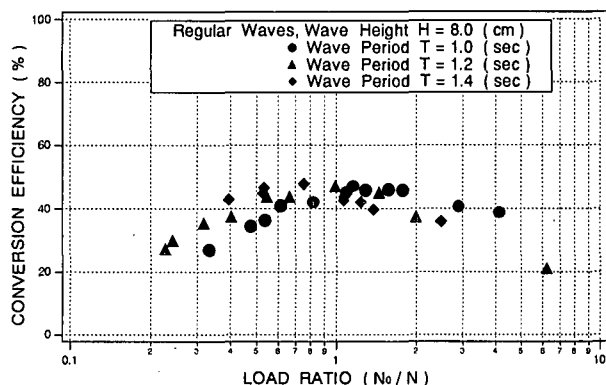


図-8 一次変換効率-負荷比 (規則波)

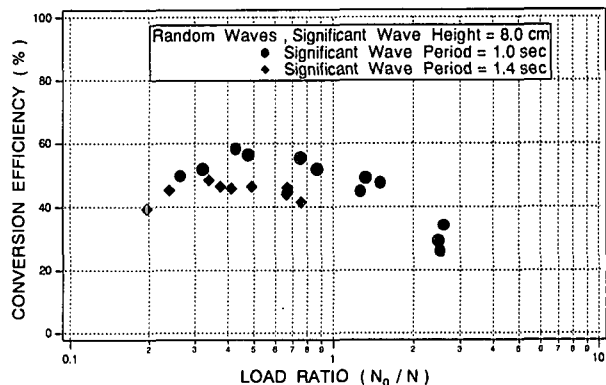


図-9 一次変換効率-負荷比 (不規則波)

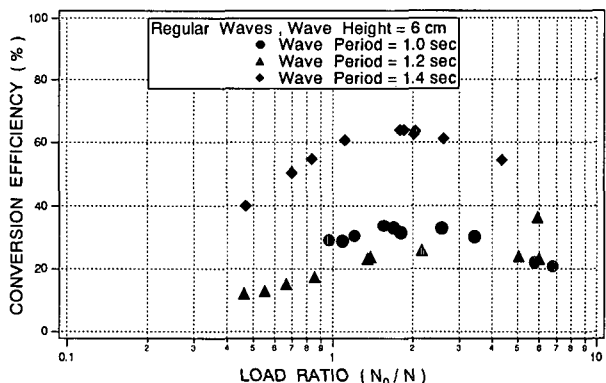


図-10 一次変換効率-負荷比 (水室有り)

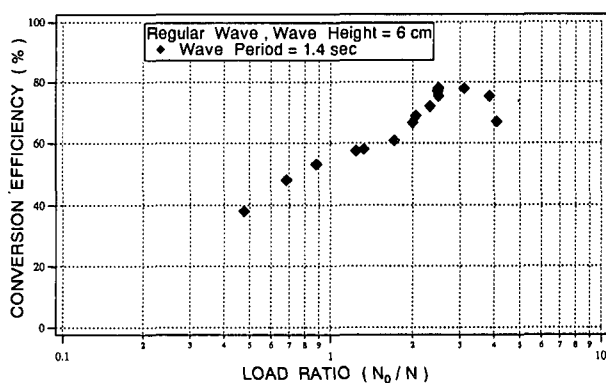


図-11 一次変換効率-負荷比 (水室長1/4波長)

しないか、もしくは反射波が振り子板に到達するまでに拡散すること等が考えられる。

b). 不規則波

不規則波の最大の一次変換効率は図-9より、周期1.0秒は約55%、周期1.4秒は約45%となり規則波と大差はなく実海域においても規則波実験で得られた一次変換効率が期待できる。

5-4 水室実験

波浪エネルギーをより多く取得するための手段の一つとして、堤体間に後壁、側壁、底板を有する水室を設置して一次変換効率を測定する実験を行った。その実験結果は図-10に示されるように、周期1.0秒は最大の一次変換効率約35%、周期1.2秒は約25%、周期1.4秒は約65%となった。これまで振り子板と水室後壁との間隔すなわち水室長は、波の1/4波長に設定することで最大の一次変換効率を得られることが確認されている。しかし、今回の振り子の設置位置は模型前面から14cmの位置に固定し、水室長は常に69cmとなり、この実験で最も長周期の1.4秒の波の1/4波長でも約62.2cmと69cmより短く、このことが、より短波長である周期1.0、1.2秒の波の一次変換効率が落ち込んだ原因と考えられる。そこで、振り子板の設置位置を1/4波長に設定して実験を行い、その実験結果を図-11に示す。最大の一次変換効率は、従来の浮上型振り子式波浪発電装置を用いた場合より高く約80%となりポイントアブソーバー的な効果があったものと考えられる。

5-5 反射率、伝達率

一次変換効率実験と水室設置実験とを比較した反射率及び伝達率の結果を図-12、13に示す。反射率は水室を設置した方が大きくまた短周期側がやや大きく0.3~0.4程度で、伝達率は水室を設置しないほうが大きくまた長周期側が大きい。

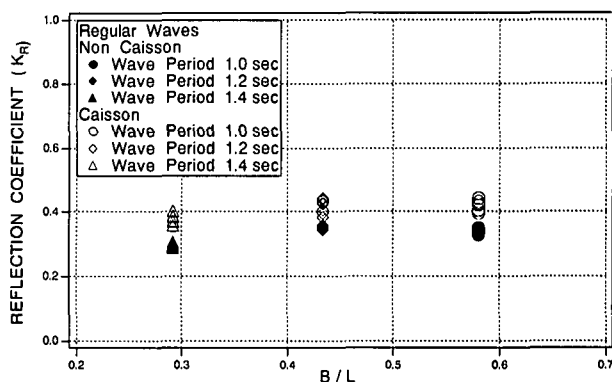


図-12 反射率-周期

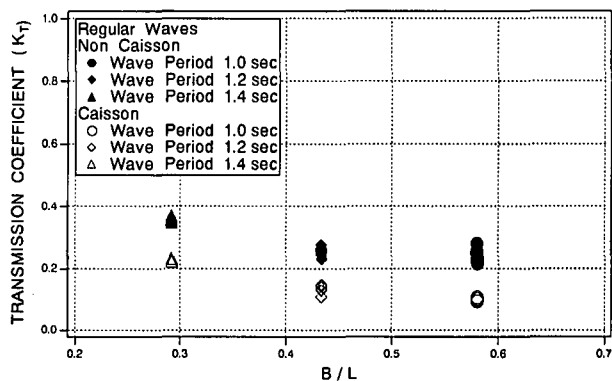


図-13 伝達率-周期

6. 結論

これらの実験結果より以下のことが確認できた。

- ・ 模型前面部の鉛直角柱間では回折等によって波エネルギーが集中し、波高が増大する。
- ・ 模型前面から14(cm)の鉛直角柱後部で振り子板は最大振れ角を記録し、そこが振り子板の最適設置位置である。
- ・ 脚柱型離岸堤に振り子式波浪発電装置を付設した場合のエネルギー吸収効率は約45%で、今回の実験範囲での周期による変動は無い。
- ・ 堤体内にケーソンを設置した場合、水室長を1/4波長に設定することでエネルギー吸収効率が増大する。
今後は平面水槽実験により、ポイントアブソーバーとしての一般的特性に関する研究を行う予定である。

参考文献

- 1) 近藤 一郎, 渡部 富治, 谷野 賢二: 防波施設に併設する波浪エネルギー吸収装置の研究(5)―システムの最適化―, 第35回海岸工学論文集, pp.842~846, 1988
- 2) 古澤 彰範, 近藤 一郎, 藤間 聡, 長谷川 覚也: 浮上型振り子式波浪発電システムの研究, 第41回海岸工学論文集(2), pp.1166~1170, 1994
- 3) 戸田建設株式会社: 新型離岸堤内蔵型波力発電技術開発報告書, 1994
- 4) 近藤 一郎, 竹田 英章: 消波構造物, 275p., 森北出版, 1983