

# 振り子式波力発電用 エネルギー平滑化ケーソンについて

STEP TYPE CAISSON FOR "PENDULOR" WAVE POWER CONVERTER TO  
FLATTER OUTPUT

飯島 徹<sup>1</sup>・佐藤隆幸<sup>2</sup>・近藤倅郎<sup>3</sup>・黒島利一<sup>4</sup>・花岡耕一<sup>5</sup>  
Toru IJIMA, Takayuki SATO, Toshiro KONDO, Toshikazu KUROSIM,  
And Kouitchi HANAOKA

- <sup>1</sup>正会員 工博 室蘭工業大学助教授 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27の1)  
<sup>2</sup>工修 大学院生 室蘭工業大学大学院 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27の1)  
<sup>3</sup>フェロー会員 工博 (株)沿岸圏システム研究所 (〒060-0807 北海道札幌市北7西2-15-1)  
<sup>4</sup>室蘭工業大学地域共同研究開発センター技官 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27の1)  
<sup>5</sup>室蘭工業大学地域共同研究開発センター技官 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27の1)

In this paper, we report the efficiency of the new step type caissons adapting for "Pendulor" wave power conversion system to get flatter energy compared with present open caisson. Using the step caisson ( $L/4n$  wave length step) for "Pendulor" wave generation system does not need an oil accumulator system for smoothing sinusoidal oil power more safe and simple. From experiment results, the total efficiency of results of "Pendulor" wave energy system used by step caissons is higher than present caisson type for 7%. The more caissons are, the more smoothing output of oil pressures data is and higher total efficiency is. And when these type of caissons for "Pendulor" wave energy system, accumulator is not needed. So that we get less risk of leak oil accidents from damaged accumulator by over load, and may expect maintenance free of it.

*Key Words: step type caisson, "Pendulor" wave power conversion system,  $L/4n$  wavelength step, accumulator, and total efficiency*

## 1. 研究目的

近年, 多くの国で海洋エネルギーを利用した発電システムの研究<sup>1)</sup>が行われている。しかし, 波の周期エネルギーを利用するためにエネルギー効率に優れる振り子式波力発電システム<sup>2)</sup>でも周期的変動によるエネルギー出力の平滑化が大きな問題になっている。現在まで考案されているものは, 入力限界を有する機械的アキュムレータであり, 設計を超える大入力においては安全性が確保できない場合がある。そこで安定的にかつ出力エネルギーを安全に平滑化するため,  $n$ 個の複数ケーソンを波長の  $1/4n$ 長ずらして設置する平滑化水室を提案し, その出力安定化の有効性を示す。振り子式波力発電装置では, 波力を  $1/2$ 波長程度の箱形ケーソンに導き, 振り子板をその中央部に吊り下げてそれと後壁との間に定常波動を起こす。往復運動により, ロータリーベーンポンプに作動油を送液し, 従来の方式では作

動油により力の出力波形の山と谷の高低差が大きくなり, 扱い難いため, オイルアキュムレータで平滑化を行い, 発電機に導く手法を取っている。

その後, 油圧モータは発電機を駆動し, 発電が可能となる。このとき, 油圧出力が不安定であると, 波力が変動する場合, アキュムレータには, その構造上, エネルギー取得の限界があり, 取得エネルギーによる変動性の問題解決には完全に対処できない。その他, この油圧システムによる器機の老朽化とメンテナンスにもコストがかかり, アキュムレータに設計以上の波力エネルギーの変換がなされる場合, 器機損傷による油漏れなど環境への影響も懸念される。そこで本研究では, 水室を  $n$ 個の複数の水室を設計波長の  $1/4n$ 長ずらして設置する平滑化ケーソンとすることで, アキュムレータなしでも油圧出力の平滑化を実現し, 複数の振り子からの油圧入力としてその各振り子式波浪発電ユニットからの油圧変動出力位相をずらすことで油圧出力を平滑化し,

安定した電力を取り出すシステムを提案する。本論文では二次元水槽実験結果を基に出力特性シミュレーション結果から開発したケーソンの有効性につ

いて述べる。従来の、振り子をフラット型ケーソンに設置したときの予想概念図を図-1に示す。

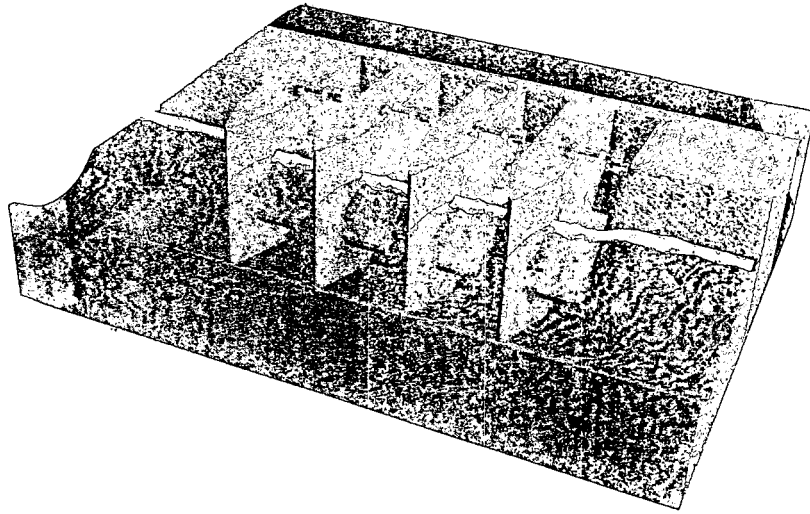


図-1 従来の振り子式波浪発電装置設置概念図

## 2. 研究内容

### (1) 振り子式波力発電システムの概要

振り子式波力発電システムを従来のフラット型堤防取り付けをした場合の概要図を図-1に示す。また、その中の1ユニットの概念図を図-2に示す。ここで波の進入方向に向け開口を、開口の反対側に後壁を、水面より低い位置に底面を備える。また、上部を開放した直方体状の水室を内側に有する。水室内に進入してきた波によって、振り子が動き、その動きがロータリーベーンポンプを駆動する。その後、発生した油圧により油圧モータが動かされ、発電装置が発電する。

### (2) ケーソンを2つ設置した場合の油圧回路

従来のフラットケーソン配置をした場合における2つの水室の場合でのロータリーベーンポンプ、油圧モータ、振り子板、回転軸など含む油圧回路の概念図を図-3に示す。また、ロータリーベーンポンプの概念図を図-4に示す。

ここで波力エネルギーは振り子により往復回転運動に変換され、図-4の構造を持つロータリーベーンポンプにより油圧容積変化されたのち、バルブスイッチング動作により1周期あたりの変動を二系統の油圧出力としてオイルアキュムレータに導かれる。

その後オイルモーターで一定回転出力変換されて発電機に回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。

RVP	: Rotary Vane Pump
G	: Generator
M	: Oil Motor
P	: Pendulum
C	: Caisson

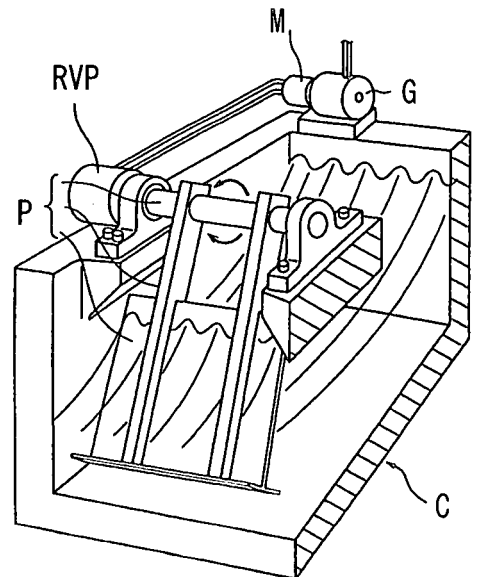


図-2 振り子式波力発電システムの概要図

また、実際のロータリーベーンポンプの作動原理概説図を図-5に示す。(a), (b)は振り子動作による油圧の動作原理図である。

RVP : Rotary Vane Pump  
 A : Accumulator  
 G : Generator  
 M : Oil Motor  
 P : Pendulum

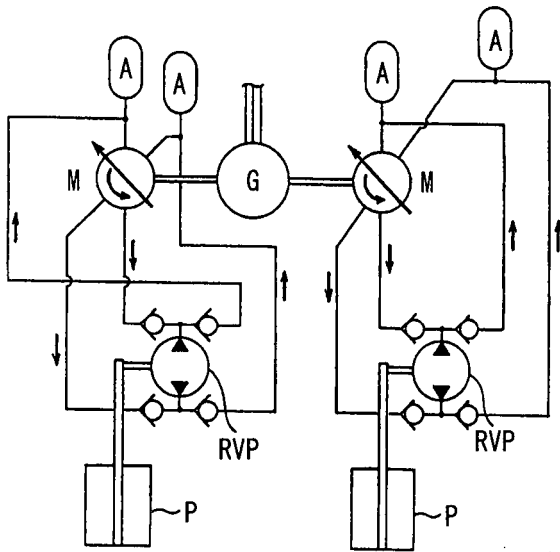


図-3 油圧回路図

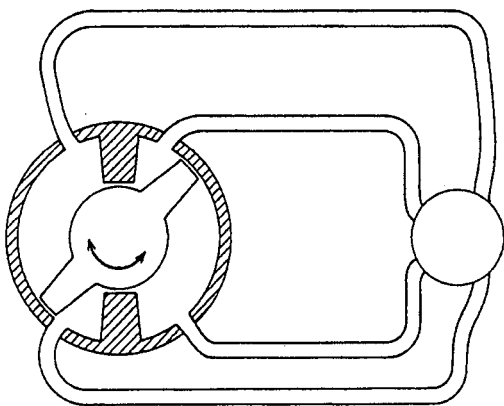


図-4 ロータリーベーンポンプ概念図

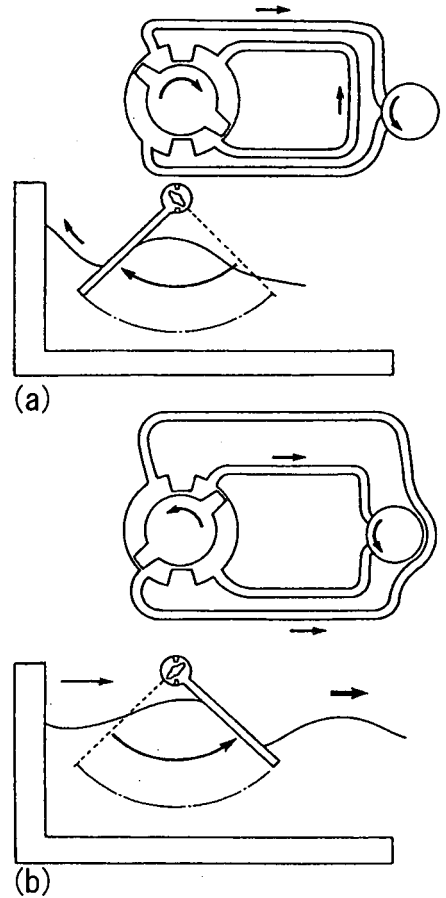


図-5 振り子往復動作時の油圧作動原理図

### (3) 実験装置

本研究では、模擬的に二次元水槽を用いた実験を行った。実験に利用した水槽は幅250mm長さ4000mmで、水深300mmを用い、波の周期は0.5秒、そこで使用した造波装置は回転保持型モータにより駆動し、ダブルスライダクランクシステムにより厳密な正弦波加振を実現し、造波板により造波する。

なお、この水槽の受波壁及び造波装置の反対壁には消波工を設けているため、反射率 $K_r$ はHealyの方法により測定したところ16%以下となりほぼ進行波と見なして良いと判断できる。

入力波口部から接近する波の進入方向に向け開口を、開口の反対側に後壁を、水面より低い位置に底面を備え、上部を開放した直方体状の水室を内側に有する実験装置を用いた。その実験水槽及び造波システムを図-5に示す。用いた実験ケーソンは波長500mmに対して、ケーソン長さは250mmである。

この設置方法での各水室の入力波の信号を用いて算出した各々のポンプ出力波形と、そのポンプの合

成出力波形を図-7に示す。

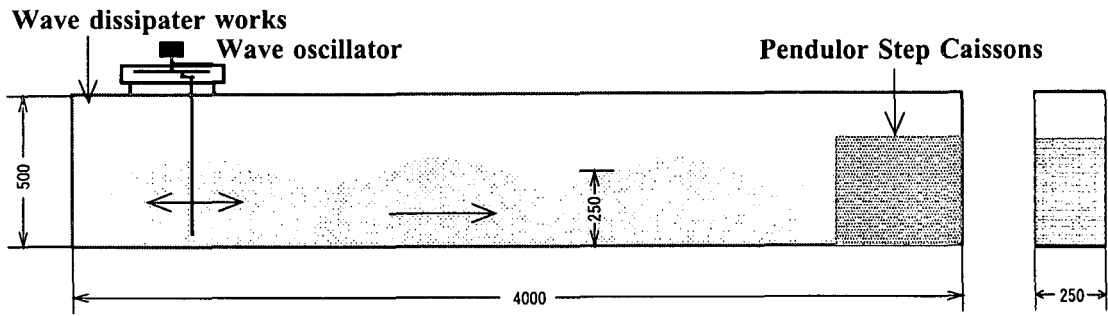


図-6 二次元水槽概略図

大のテストプラントは2室のケーソンであった<sup>3)</sup>。

#### (4) 油圧出力波形

ケーソンを二つ設置した場合の(2)の油圧回路での油圧出力波形を図-7に示す。なお横軸は時間、縦軸は総合効率である。図-7(a)の実線部分は、1つのケーソンにおけるそれぞれのロータリーベーンポンプが発生した油圧出力波形で、点線部分はアキュムレータを油圧モータに接続したもので、油圧出力の山と谷を平準化することができる。図-3の(b)は2つのケーソン油圧出力とその合成波形を示す。なお、 $P_{th} = P_1 + P_0$ で $P_1$ は対象とするポンプの総合の出力、 $P_0$ は単一ケーソンでのポンプ最高効率とする。

この結果から従来型の場合、アキュムレータを使用した場合でも出力が正弦波的な変動を示すことが観察される。また、実機で設計想定以上の出力が得られる場合には、システムの安全性においてアキュムレータのオーバーロードなどにより問題を生じる他、アキュムレータの設計で入力波力の大きさによる対応が難しいのが現状である。

#### (5) 平滑化ケーソン

ロータリーベーンポンプの油圧出力を平滑化するための考案した平滑化ケーソンの配置方法を説明する。水室内の波長を $L$ とした場合に、隣接水室同士の後壁が波の接近方向に対して、 $L / 2n$  ( $n$ は、水室の数で、2以上の整数とする。)の長さだけ相互に前後した位置に配置する方式である。

実用的には、図-5のように他方の水室よりも $L / (2n)$ だけ後退した位置にあるケーソンに設けられた振り子板は、他方の水室の後壁から開口に向かって定常波の波長 $L$ の $1 / (2n)$ の距離だけ前進した位置に設ける。

振り子の幅は3~5mであるから、1つのケーソン内に複数の水室を設けることは可能である。室工

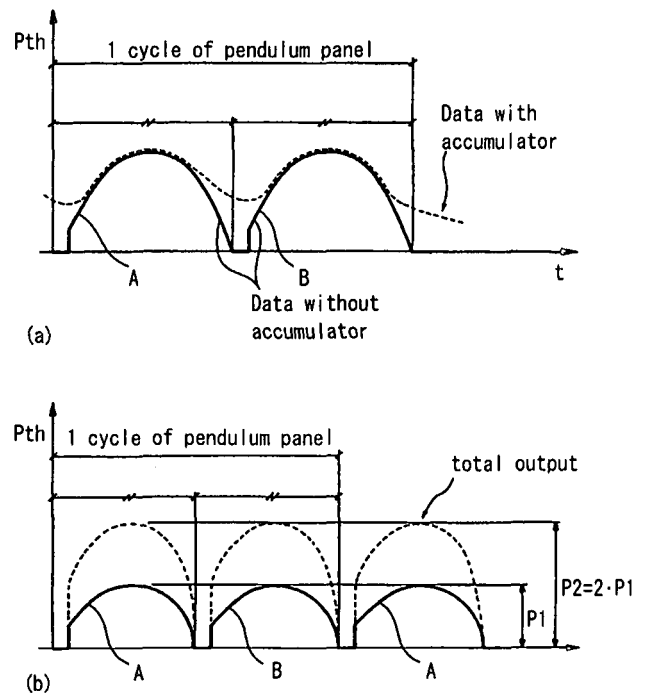


図-7 油圧出力波形

図-8では2つ以上の水室を設置する場合のケーソンの概説図である。

ここで、実際には $n$ 個のケーソンを利用するために、 $L/2n$ ずらした形で設置する前後にずらす形で配列すると平滑化はさらにスムーズ化すると考えられる。

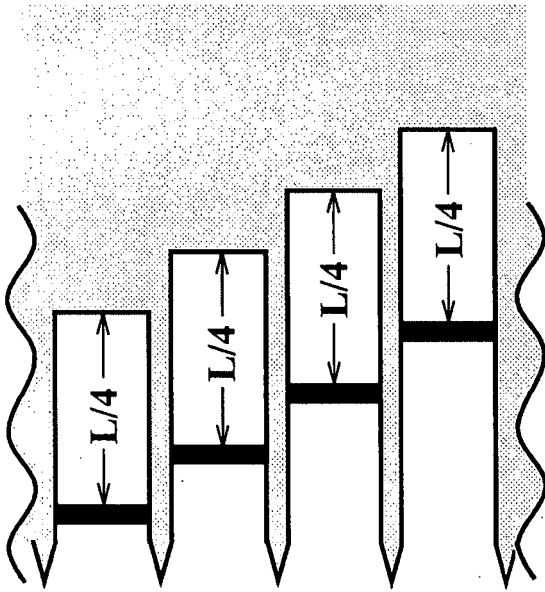


図-8 ケーソンの配置方法

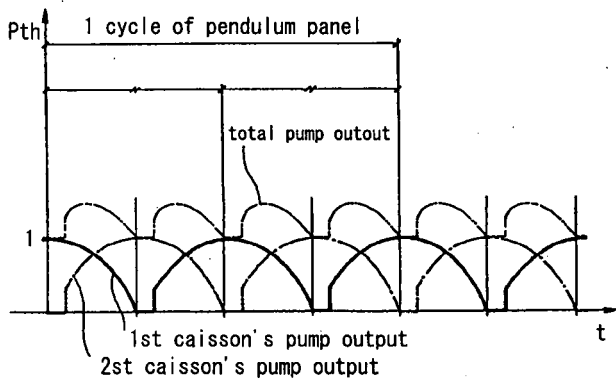


図-9 2つのケーソンの合成油圧出力図

図-9により、アキュムレータを使用しない場合でも2種類の水室で油圧出力は平滑化されているのが観察される。また、平滑化性能は、アキュムレータを用いた通常の場合同様であることが確認される。出力は1周期あたりの総獲得エネルギーは通常の2ケーソンの場合約 $2\pi + 1$ 、本ケーソンの場合は $2\pi + 1.5$ であり、通常の場合より約7%程度上回ることがわかる。

#### 4. 結論

(1)

この平滑化ケーソンを使用することで、機械的境界を有するアキュムレータを用いないために、システムの安定化及びメンテナンスに優れた特徴を有し、安全性に優れている。平滑化性能は、アキュムレータを用いた通常の場合同様であることが確認され出力は1周期あたりの総獲得エネルギーは通常の場合より約7%程度上回ることがわかる。

(2)

従来の場合の水室設置方式の油圧出力に比べて大幅に出力が平準化されることが確認できた。また、このステップ型平滑化ケーソンに関しては $n$ 個の配列で平滑化の水室ステップさせることにより、最大で $L/4$ の奥行きを $(n-1)$ 当分させることで平滑化の度合いはさらに上がる。

謝辞：

最後に本研究に際して(株)北日本港湾コンサルタントの研究費補助があったことに深い感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 近藤俊郎ほか著：海洋エネルギー利用技術，森北出版。
- 2) 近藤俊郎ほか：ロータリーベーンポンプによる振り子は波力エネルギー変換装置の実用機開発，土木学会海岸工学論文集，第45巻，pp. 1221-1225，1998。
- 3) 近藤俊郎：6.2 波力エネルギー，新エネルギー大辞典，工業調査会pp. 616-636，2002。