

PS-28 浮体式振動水柱型波浪発電施設の水槽試験

およびオリフィス特性試験

海洋利用水中技術系 * 平尾 春華、國分 健太郎、二村 正、藤原 敏文、井上 俊司

1. はじめに

振動水柱型波力発電装置は、実用化に近い波力発電装置の一つである。振動水柱型波力発電では、空気の入り出る流れを用いてタービンを回し発電する。水槽試験では、通常、タービンをオリフィスに置き換えて試験を行う。そのことから、タービンと等価なオリフィスの仕様を決めるために必要となるオリフィス特性試験を先ず行った。また、振動水柱型波力発電装置の波浪中の挙動を把握するための水槽試験を行った。

2. オリフィス特性試験

空気室模型実験において、オリフィスの性能を確認する試験を行った。試験結果をデータベースにまとめ、オリフィスを用いて発電タービンを水槽試験で簡易的に模擬するための推定式の導出を行った。

2.1 試験方法

模型は、図-1のように、空気室を模擬するシリンダーと空気室内の波面を模擬するピストン、4種類の空気室(0.017 m³, 0.217 m³, 0.417 m³, 1.017 m³)、タービンを模擬するオリフィスからなる。

オリフィスの径および空気室の容量、ピストン振幅、ピストン周期を変化させて試験を行い、ピストン変位 x_p 、外部圧力と空気室内の差圧 p 、空気室内温度 τ 、オリフィス出口の流速 v 、オリフィスに作用する空気による力 F_L を計測した。計測した値から体積流量 Q_p を計算した。

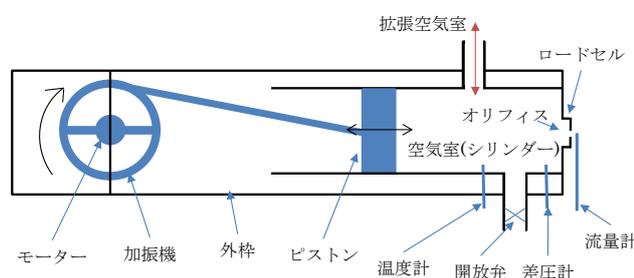


図-1 オリフィス試験装置

2.2 結果の例

p と Q_p から図-2の相関図を作成し、最小二乗法を用いて、流量計数 $k(p = kQ_p|Q_p|)$ を得た。 $Re_d = w_{dM}d/\nu$ でレイノルズ数 Re_d を、 $C = \sqrt{8(1-m^2)\rho_{Air}/k\pi^2d^4}$ で流出係数 C を計算した。但し、 w_{dM} は流速振幅、 d はオリフィス直径、 ν は空気の動粘性係数、 m はオリフィス開口比(水柱の断面積またはシリンダー面積に対するオリフィス穴の面積の比で定義)、 ρ_{Air} は空気密度である。

系統的な実験を行い、レイノルズ数 Re_d とオリフィス開口比 m をパラメータとして、流出係数 C の推定式を式(1)のとおり提案した。図-3に式(1)で得た値と実験値を比較して示す。両者は良く一致していると言える。

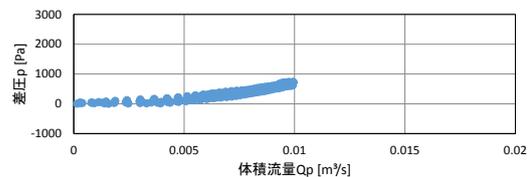


図-2 差圧 p と体積流量 Q_p 相関図(周期 2.0s,振幅 0.10m)

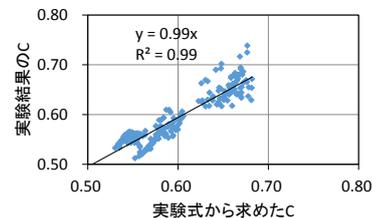


図-3 実験値と実験式からの推定値の比較

$$C = (-2.5 \times 10^{-5}m - 5.4 \times 10^{-7})Re_d + 5.1m + 0.55 \quad (1)$$

3. 水槽試験

オリフィス特性試験に基づき決定されたオリフィスを用い、振動水柱型波力発電装置の水槽試験を実施した。

3.1 模型および試験条件

模型は、波の力で運動する水柱、水柱の運動を空気の流れに変換する空気室、発電タービンを模擬するオリフィスからなる。振動水柱型波力発電装置模型の要目を表-1に示す。また、模型概略を図-4に示す。模型縮尺は、想定実機に対して1/20とした。空気室は1.05m³である。オリフィスは、開口比1/250、1/50、開放(開口比1/34.5に相当)、密閉の4通りの試験をした。

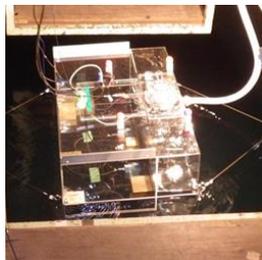
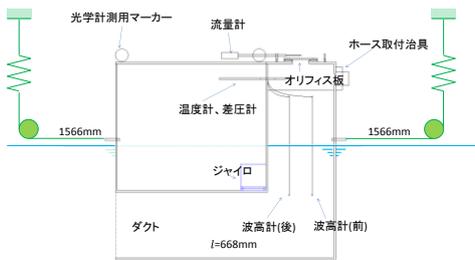


図-4 振動水柱型波力発電装置模型

表-1 模型要目

要目	単位	想定実機	模型
縮尺	—	1	1/20
全長	m	13.36	0.668
全幅	m	20.28	1.014
喫水	m	6.92	0.346
水柱の断面積	m ²	78.9	0.197
排水体積	m ³	604.5	0.0756
重心高さ	m	6.62	0.331
慣動半径	m	5.42	0.271

※重心高さは底面を基準にしている。

係留は、ワイヤーを用いた前後のばね係留とした。ばねの復元力係数は、前後ともに 24N/m である。計測項目は、波高、内部水柱相対変位(2 か所)、運動 6 自由度、前後係留力の 2 か所、外部圧力と空気室内の差圧、空気室内温度、オリフィス穴直上空気流速である。

波浪中の試験を行い、規則波の条件は波周期 0.6s から 2.6s まで、波高は 0.030m から 0.100m である。不規則波中では有義波高 0.075m、有義波周期 1.6s で試験を行った。

空気室開放状態は、オリフィス取付け部を完全に開放した状態である。開放面積は、水柱の断面積の約 1/34.5 であった。

3. 2 結果の例

図-5～図-8 は水槽試験の結果の例である。オリフィスの状態変化による試験結果への影響を比較している。

図-6 のピッチの結果を見ると、波周期が 2.0s より長い周期でオリフィス開口比による影響が見られる。空気室密閉状態のピッチ固有周期は 1.7s、空気室開放状態は 2.8s であり、空気室を開放した長周期側でのピッチの応答振幅増大は、固有周期との同調によるものと考えられる。オリフィス開口比が小さくなるに従い、応答振幅も減少する傾向も見られる。図-5 より、オリフィス開口比が小さくなる

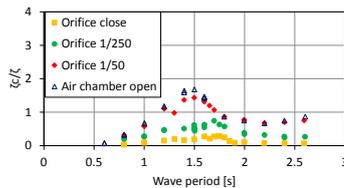


図-5 内部水面 RAO

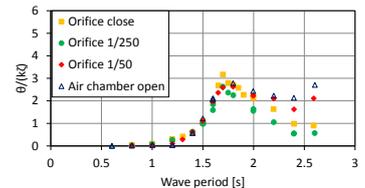


図-6 ピッチ RAO

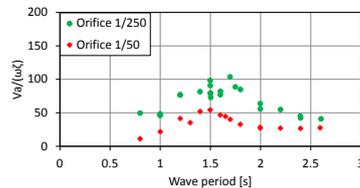


図-7 流速 RAO

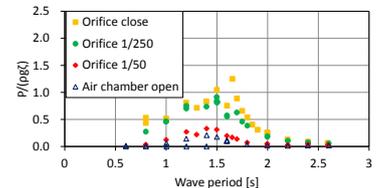


図-8 空気室圧力 RAO

ほど、振動水柱の応答振幅が小さく、図-8 より、空気室の圧力変動が大きくなる。

4. まとめ

振動水柱型波力発電装置の発電タービンを模擬するために必要となるオリフィス特性試験および発電装置の安全性性能評価に資する水槽試験を実施した。

まず、タービンを模擬するためのオリフィスの特性を調べるための基礎試験を系統的に実施し、レイノルズ数 Re_d とオリフィス開口比 m をパラメータとして、流出係数 C の推定式を提案した。

続いて実施した水槽試験からは、オリフィスの開口比が小さく、空気室が密閉状態に近づくとき、空気室内の圧力変動は大きく、内部波高の変動は小さく、浮体のピッチの振幅は小さくなる傾向があるという知見を得た。

謝辞

本研究は、平成 27 年度国土交通省海事局受託研究「潮流・海流等海洋エネルギー発電施設の安全対策のための調査研究」の一部として実施した。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) <http://www.ocir.saga-u.ac.jp/houmonki/pdf/17.pdf>
- 2) 沖、管内オリフィス及びノズルの流量係数及び抵抗係数の数式表示、機械学会誌第 4 巻、第 14 号、1938、pp. 77-85
- 3) JIS Z 8762-1、形管路の絞り機構による流量測定方法—第 1 部：一般原理及び要求事項、2007
- 4) JIS Z 8762-2、円形管路の絞り機構による流量測定方法—第 2 部：オリフィス板、2007
- 5) 永田 他、浮体式振動水柱型波力発電装置“後ろ曲げダクトブイ”の特性について、日本機械学会流体工学部門講演会議講演論文集、2010、pp. 393-396