

OWC 型波力発電装置に用いる垂直軸形タービンの特性にダクト幅が及ぼす影響

The Effect of Duct Width on the Characteristic of Vertical Axis Turbine for the OWC-type Wave Power Generation

○宮前翔平<sup>1</sup>, 直井和久<sup>2</sup>, 塩野光弘<sup>2</sup>, 柳平和寛<sup>3</sup>, 鈴木勝行<sup>2</sup>

\*Shohei Miyamae<sup>1</sup>, Kazuhisa Naoi<sup>2</sup>, Mitsuhiro Shiono<sup>2</sup>, Kazuhiro Yanagidaira<sup>3</sup>, Katsuyuki Suzuki<sup>2</sup>

Abstract : The most common type of the turbine used for the OWC-type wave power generation is the horizontal axis turbine. However, this type is easy to erode the generator in the duct of the OWC-type wave power generation, because salinity wind flows in the duct. Then, we installed the duct containing the vertical axis turbine with the wind tunnel in order to assume the OWC-type wave power generation. In this paper, we changed the duct width and examined starting torque characteristics and load characteristics. In the result of an experiment, starting torque characteristics became almost equal regardless of the duct width. Over tip speed ratio of 1.25, the narrower duct width was, the higher turbine efficiency was.

1. はじめに

OWC (振動水柱) 型波力発電は、構造がシンプルであり、耐久性に優れているなどの利点があり、採用実績が多い<sup>(1)</sup>。現在、OWC 型波力発電に用いられるタービンの主流はウェルズタービンという水平軸形タービンである<sup>(1)</sup>。しかし、この方式では発電機が塩分を含む空気が流れるダクト内に設置されるため<sup>(2)</sup>、腐食しやすく、またタービンへの流入風量を妨げてしまう。一方、垂直軸形タービンを用いることを想定すると、発電機をダクト外に設置できるため、発電機の設置環境の面で水平軸より有利である。そこで、垂直軸形タービンを用いた OWC 型波力発電方式の基礎検討として、垂直軸形タービンの周囲にダクトを設置した。本稿では風洞施設においてダクト幅を変化させ試験を行い、ダクト幅の違いが定常流中のタービンの起動トルク特性と負荷特性に及ぼす影響について、検討を行ったので報告する。

2. 試験装置

試験に使用したタービンの概形を図 1 に示す。試験には我々が風車として検討していた<sup>(3)</sup>垂直軸形タービンを使用した。主翼の翼形状は NACA63<sub>3</sub>-018 をもとに、そり線を回

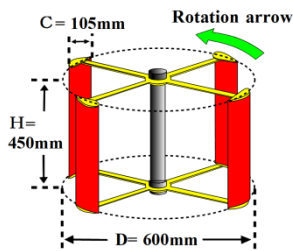


Figure1. Vertical axis turbine

転軌跡と一致させた円弧キャンバー翼である。翼枚数は 4 枚とした。ここで、D:直径, H:高さ, C:翼弦長とする。OWC 型波力発電装置を模擬するため、図 2 に示すように、水平式閉鎖回流型風洞(測定部:幅 2000mm, 高さ 2000mm, 奥行き 5300mm)内に垂直軸形タービンを設置し、その周囲にダクト(高さ 630mm, 奥行き 3000mm)を設置した。ダクト幅 Ld は 800mm~1100mm の範囲で 100mm 毎に設定した。また、ダクト内の風速を測定するため風速計を設置した。

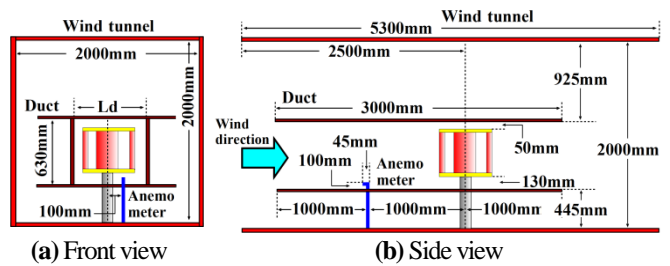


Figure2. Wind tunnel measurement section

3. 試験方法

3. 1. 起動トルク試験

起動トルク試験は、ダクト内の風速を一定にし、タービンの停止状態におけるトルクを測定する。ここで起動トルクは翼の位置によって異なるので、測定には位置角を使用する。位置角の定義を図 3 に示す。

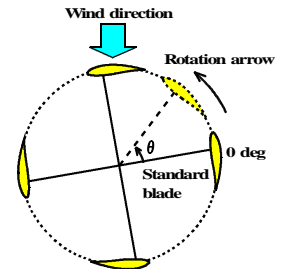


Figure3. Definition of position angle

基準翼が風向に対し迎角 0deg の時、位置角 0deg と定義する。

起動トルクは反時計方向に位置角を 5deg 間隔で測定する。位置角の測定範囲は、4 枚翼では起動トルクが 90deg の周期性があるため、2 周期分の 0~180 deg とした。

ここで、ダクト内の風速を設定するにあたり、ISLAY 島にある OWC 型波力発電装置の LIMPET の寸法<sup>(2)</sup>と石廊崎の 1976~2010 年の累年波浪データ<sup>(4)</sup>から、タービン部分の定常流中における最小風速と最大風速を試算した結果、6.2m/s と 9.4m/s となった。これより、ダクト内の風速は 6, 9m/s に設定した。

起動トルクの評価には次式に示す係数  $C_T$  を用いる。

$$C_T = \frac{T}{0.5\rho AV^2 R} \quad (1)$$

ここで  $\rho$ :流体密度[kg/m<sup>3</sup>], A:掃過面積[m<sup>2</sup>], R:風車回転半

1: 日大理工・院(前)・電気 2: 日大理工・教員・電気 3: 日大理工・教員・機械

径(=D/2)[m], V:風速[m/s], T:トルク[Nm]とする.

### 3. 2. 負荷特性試験

負荷特性試験は, ダクト内の風速を 6, 9m/s に設定した後, タービンの回転速度とトルクを測定する. タービンの回転速度は0~640 min<sup>-1</sup>まで20 min<sup>-1</sup>毎に設定する. ここで, 最高回転速度はタービンへの遠心力による影響を考慮し640 min<sup>-1</sup>とした.

回転速度をタービンの寸法によらず評価するため周速比λを用いる. 周速比λを次式に示す.

$$\lambda = \frac{2\pi N R}{60 V} \quad (2)$$

ここでN:回転速度[ $\text{min}^{-1}$ ]とする. またタービン効率 $\eta_T$ は次式に示す.

$$\eta_T = \frac{2\pi N}{60} \frac{T}{0.5\rho AV^3} \quad (3)$$

## 4. 試験結果

### 4. 1. 起動トルク試験

図4に風速6, 9m/sにおける起動トルク特性を示す. 各風速のLd=800~1100mmの範囲において, 起動トルク係数はダクト幅によらずほぼ一致した. ここで, 起動トルク係数の平均値を表2に示す. 表より, 風速6, 9m/sのいずれもLd=800mmのときに最大値を得ている. また, 風速が高くなると平均起動トルク係数は増加している.

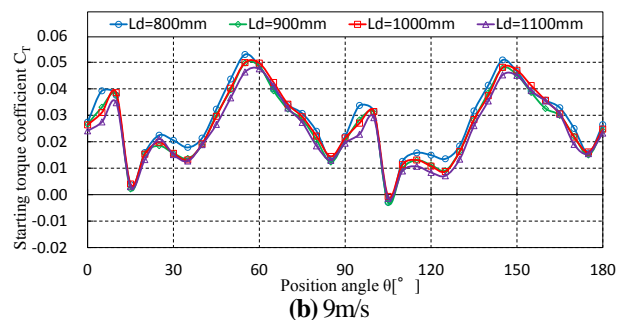
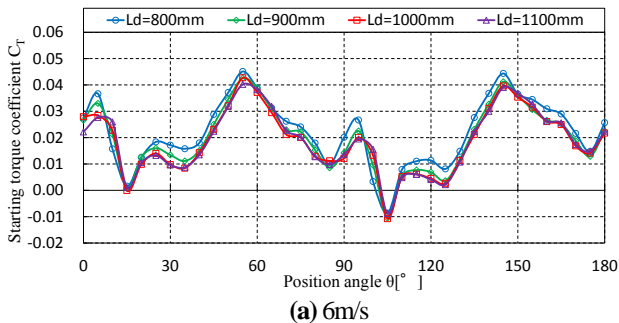


Figure4. Starting torque characteristics

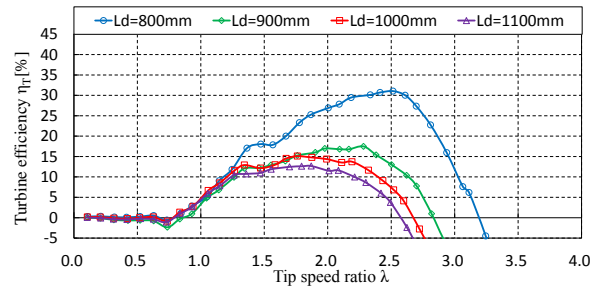
Table1. Average starting torque coefficient

| Wind speed[m/s] | Average starting torque coefficient |          |           |           |
|-----------------|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|
|                 | Ld=800mm                            | Ld=900mm | Ld=1000mm | Ld=1100mm |
| 6               | 0.022                               | 0.020    | 0.019     | 0.019     |
| 9               | 0.028                               | 0.025    | 0.026     | 0.024     |

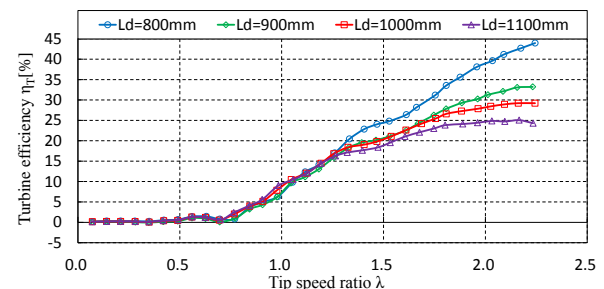
### 4. 2. 負荷特性試験

図5に風速6, 9m/sにおけるλ-η<sub>T</sub>特性を示す. 各風速の

Ld=800~1100mmの範囲において, タービン効率は周速比λ=1.25以下ではダクト幅によらずほぼ一致したが, 周速比λ=1.25以上ではダクト幅が狭いほど向上した. また, 風速が高いほどタービン効率は向上しており, 今回得られた最大タービン効率は風速9m/s, Ld=800mmのときの44%であった. ただし, 今回設定したタービンの最高回転速度では, 風速9m/sのときタービン効率のピークが得られていないので, 周速比の範囲を拡大すれば, 風速9m/sのときにより高いタービン効率を得られる可能性があると考えられる.



(a) 6m/s



(b) 9m/s

Figure5. Load characteristics

## 5. まとめ

垂直軸形タービンを用いた OWC 型波力発電を想定し, ダクト幅の違いが定常流中のタービンの起動トルク特性と負荷特性に及ぼす影響について風洞試験により検討した. Ld=800~1100mmの範囲において, 各風速の起動トルク特性はダクト幅によらずほぼ一致し, タービン効率は周速比λ=1.25以上ではダクト幅が狭いほど向上した. また, 今回の風速の範囲では, 風速が高いほど平均起動トルク係数とタービン効率は向上し, 今回得られた最大タービン効率は風速9m/s, Ld=800mmのときの44%であった.

風洞実験に際し, 御協力頂いた風洞実験室の安部先生, 高橋先生に謝意を表す.

### 参考文献

- (1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構:「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」, エネルギーフォーラム, pp.311 (2010,12)
- (2) The Queen's University:「ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT」, PUBLISHABLE REPORT 1 November 1998 to 30 April 2002, pp.4,15,17~20
- (3) 関(ま)か:「円弧キャンパー翼垂直軸形風車の翼取付角が風車特性に及ぼす効果」, 電気設備学会全国大会講演論文集, pp.97~98(2006,8)
- (4) 気象庁:波浪観測累年表 1976-2010 石廊崎, <http://www.data.kishou.go.jp/db/wave/stat/pdf/47655s.pdf>