

振動水柱型波力発電装置に用いる 3 枚翼垂直軸形タービンの負荷特性

Load Characteristics of Three Blades Vertical Axis Turbine
for Oscillating Water Column Type Wave Power Generation System○浪岡嵩東¹, 直井和久², 塩野光弘², 柳平和寛³, 鈴木勝行²*Takeharu Namioka¹, Kazuhisa Naoi², Mitsuhiro Shiono², Kazuhiro Yanagidaira³, Katsuyuki Suzuki²

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 because saline air flows in the duct. When using the vertical axis turbine, there is no problem of these because generator is installed outside the duct. Then, we installed the duct surrounding the three blades turbine in order to assume using the vertical axis turbine for the OWC-type wave power generation. This paper investigates the effect of the duct on the characteristics of turbine by wind tunnel experiments.

1. はじめに

振動水柱(OWC)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るため、採用実績が多い⁽¹⁾。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⁽¹⁾。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⁽²⁾ため腐食しやすい。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点で水平軸形タービンより有利である。そこで、垂直軸形タービンを用いた OWC 型波力発電装置の基礎検討として、4 枚翼垂直軸形タービンの周囲にダクトを設置し実験を行った結果、ダクト幅 700~1000mm の範囲ではダクト幅が狭いほどパワー係数が増加することを確認した⁽³⁾。また、そのときのパワー係数の最大値は風速 9m/s における 0.74 であった⁽³⁾。

本稿では 4 枚翼垂直軸形タービンより効率が高いといわれている 3 枚翼垂直軸形タービン⁽⁴⁾において、ダクトの有無が定常流中のタービンのパワー係数に及ぼす影響について風洞試験により検討を行ったので報告する。

2. 試験装置

試験に使用した垂直軸形タービンの概形を図 1 に、諸元を表 1 に示す。垂直軸形タービンの主翼の翼形状は NACA63₃-018 をもとに、そり線を回転軌跡と一致させた円弧キャンバー翼である。翼枚数は 3 枚とした。

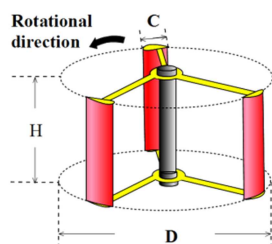
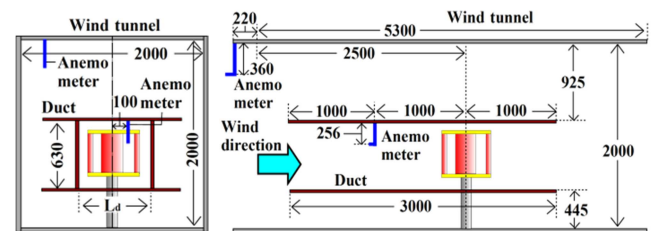


Figure 1. Vertical axis turbine

Table 1. Specification for turbine

Number of blades	3
Diameter: D[mm]	600
Height: H[mm]	450
Chord length: C[mm]	105

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 L_d は 4 枚翼垂直軸形タービンの実験において最もタービン効率の高い 700mm⁽³⁾とした。また、ダクト内の風速を一定に保つため、ダクト上部に風上から 1000mm の位置に風速計を設置した。ダクトを設置しない場合、風速は風洞測定部の上部に設置した風速計により測定する。



(a) Front view

(b) Side view

Figure 2. Wind tunnel measurement section

3. 試験方法

試験装置を図 3 に示す。パワー係数は、ダクト内の風速を一定にし、タービンの回転速度とトルクを、回転検出器とトルク検出器により測定する。ここで、ダクト内の設定風速は、ISLAY 島にある OWC 型波力発電装置の LIMPET の寸法⁽²⁾と静岡県賀茂郡南伊豆町にある

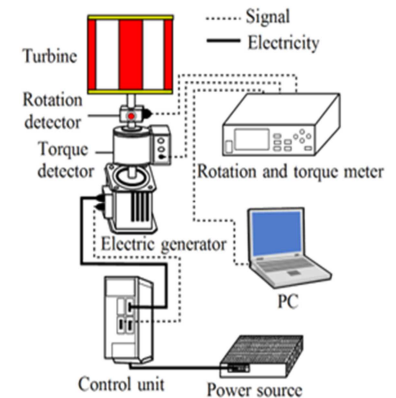


Figure 3. Measurement system of load tests

石廊崎の 1976～2010 年の累年波浪データ⁽⁵⁾から求めた。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、6.0m/s と 9.4m/s となったため、ダクト内の風速は 6～9m/s の範囲で 1m/s 毎に設定した。また、タービンの回転速度はタービンへの遠心力による影響を考慮し 880 min⁻¹ までとし、20 min⁻¹ 毎に設定する。

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。

$$\lambda = \frac{2\pi N R}{60 V} \quad (1)$$

ここで、N: 回転速度[min^{-1}] , R: 風車回転半径(=D/2)[m], V: 風速[m/s]とする。また、タービン出力の評価には次式に示すパワー係数 C_p を用いる。

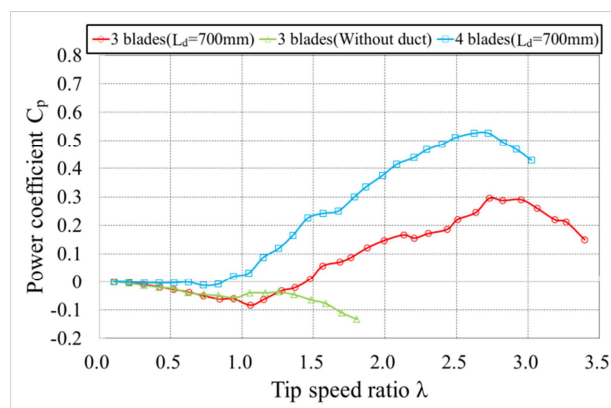
$$C_p = \frac{2\pi N T}{60 \cdot 0.5\rho AV^3} \quad (2)$$

ここで、T: トルク[Nm] , ρ : 流体密度[kg/m^3] , A: 風車掃過面積(=D×H)[m^2]とする。

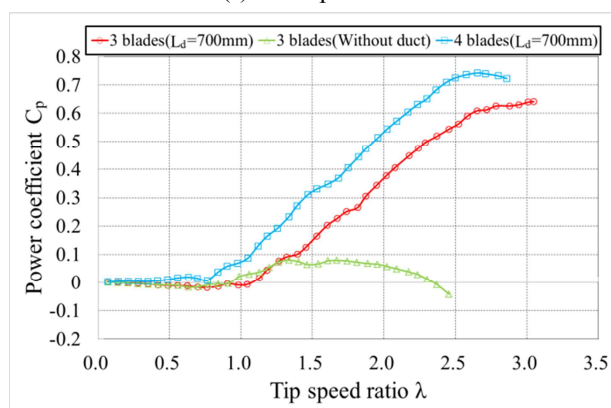
4. 試験結果

図 4(a), (b)に風速 6, 9m/s における λ - C_p 特性を示す。翼枚数による比較のため、4 枚翼のデータ⁽⁶⁾も示す。パワー係数は翼枚数やダクトの有無に関わらず、設定風速 6～9m/s の範囲では、風速が高いほど増加した。3 枚翼におけるダクトの有無について比較すると、風速 6m/s において、ダクトを取り付けた場合のパワー係数の最大値 0.29 は、ダクトなしの場合の -0.04 に比べ 0.33 増加した。パワー係数が最大となるときの周速比は、ダクトを取り付けた場合は 2.73 となり、ダクトなしの場合の 1.26 に比べ 2.17 倍に増加した。風速 9m/s において、ダクトを取り付けた場合のパワー係数の最大値 0.64 は、ダクトなしの場合の 0.08 に比べ 0.56 増加した。パワー係数が最大となるときの周速比は、ダクトを取り付けた場合は 3.05 となり、ダクトなしの場合の 1.33 に比べ 2.29 倍に増加した。また、今回得られたパワー係数の最大値は風速 9m/s のときの周速比 3.05 における 0.64 であったが、今回設定したタービンの最高回転速度より高い周速比において、パワー係数のピークが得られる可能性がある。

ダクトを取り付けた場合、3 枚翼と 4 枚翼について比較すると、風速 6m/s において、3 枚翼のパワー係数の最大値 0.29 は、4 枚翼の 0.53 に比べ 0.24 低い値となった。風速 9m/s において、3 枚翼のパワー係数の最大値 0.64 は、4 枚翼の 0.74 に比べ 0.1 低い値となった。今回の実験は、ダクト内風速を一定に保つため、周速比が上がる毎に風洞測定部内の風速を増加させた。このとき、周速比の高い範囲において、同じ設定風速かつ、周速比の場合、3 枚翼に比べ 4 枚翼の風洞測定部内の風速が大きくなったため、3 枚翼のパワー係数の最大値に比べ 4 枚翼の方が高い値を示したと考えられる。



(a) Wind speed 6m/s



(b) Wind speed 9m/s

Figure 4. Characteristics of λ - C_p

5. まとめ

OWC型波力発電において3枚翼垂直軸形タービンを用いる場合を想定し、ダクトの有無が定常流中のタービンのパワー係数に及ぼす影響について風洞試験により検討した。

試験結果より、今回の設定風速 6～9m/s の範囲では、風速が高いほどパワー係数は増加した。3枚翼垂直軸形タービンにおいて、各風速におけるパワー係数の最大値およびパワー係数が最大となるときの周速比は、ダクトを取り付けることにより増加することを確認した。また、ダクトを取り付けた場合、各風速における3枚翼のパワー係数の最大値は4枚翼に比べ低い値となることを明らかにした。

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) 杉内ほか: 「波力発電装置のダクト幅と風車効率の関係」, 平成 26 年電気学会全国大会講演論文集, vol.7, p.43
- (4) K Naoi, et al.: 「A Wind Power Generation System using the Vertical Axis Wind Turbine with Arc Camber Blades」, ISOPE2006, pp.369-374(2006)
- (5) 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>