

固定式 OWC 型波力発電装置のエネルギー変換効率に及ぼすカーテンウォール 没水深の影響

村上 天元^{*1}, 今井 康貴^{*1}, 永田 修一^{*1}, 高尾 学^{*2}, 瀬戸口 俊明^{*1}

Effect of Curtain Wall Depth on Energy Conversion Efficiency of a Fixed OWC-Type Wave Energy Converter

Tengen MURAKAMI^{*1}, Yasutaka IMAI^{*1}, Shuichi NAGATA^{*1}, Manabu TAKAO^{*2} and
Toshiaki SETOGUCHI^{*1}

^{*1}Institute of Ocean Energy, Saga University
1, Honjo, Saga, 840-8502, Japan

^{*2}Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Matsue College
14-4, Nishiikuma, Matsue, Shimane, 690-8518, Japan

Abstract

A fixed oscillating water column (OWC)-type wave energy converter is composed of an air chamber, an air turbine and a generator. In this unit, the energy conversion process is divided into two main steps, the primary conversion in an air chamber and the secondary conversion in an air turbine. For the practical application of a fixed OWC-type wave energy converter, it is necessary to develop a design method which can consider the characteristics of incident wave motion, the motion of the internal free surface affected in the structure such as a partly submerged wall, the fluctuation of air pressure in an air chamber, and the rotation of the air turbine. On the other hand, the impulse turbine as the secondary conversion device in the OWC unit is expected to achieve high efficiency throughout a wide flow rate range. In this paper, the authors conducted the 2-dimensional wave tank tests in regular waves by means of the model OWC equipped with the impulse turbine and a generator to obtain the experimental data needed to make this design method. As the result, the effects of the curtain wall depth and the wave length on the energy conversion efficiency of the OWC are clarified experimentally.

Key words : Wave energy, Oscillating water column, Primary conversion, Secondary conversion, Impulse turbine

1. 緒 言

振動水柱 (OWC) 型波力発電装置は、空気室と空気タービンから構成されて、台風等の異常海象下では、空気室壁の弁を開けて空気室内の空気を大気開放することが可能なため、安全な装置として認識されており、沿岸固定式の場合はタービン・発電機がケーソン上部に据え付けられるため、沖合浮体式と比べて保守が極めて容易となる。

OWC 型装置のエネルギー変換過程は、波浪の上下動を空気の振動流に変換する一次変換 (Takahashi, et al., 1985) と、空気の振動流をタービンの回転エネルギーに変換する二次変換 (Takao, et al., 2012) とに分けられる。なお、二次変換装置としてウエルズタービンと衝動タービン (Setoguchi, et al., 2001) があり、ウエルズタービンは高速回転型、衝動タービンは高流量域で失速しない優れた特徴を有する。

本報告では、衝動タービンおよび発電機を装備した固定式 OWC 型波力発電装置のエネルギー変換効率に及ぼすカーテンウォール没水深および波長の影響について述べる。

原稿受付 2018 年 8 月 3 日

^{*1} 佐賀大学 海洋エネルギー研究センター (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1)

^{*2} 松江工業高等専門学校 機械工学科 (〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4)

E-mail of corresponding author: murakami@ioes.saga-u.ac.jp

2. 実験装置

図1は実験に用いた固定式 OWC 型波力発電装置の模型を示す。模型は、長さ 18.5 m、幅 0.8 m、水深 0.8 m の二次元水槽の端に設置し、もう一方の端に設置してある吸収制御式のプランジャー型造波機によって、波高 $H = 0.1$ m の規則波を発生させて実験を行った。空気室の奥行 L は 700 mm、カーテンウォールの厚さは 5 mm、基準のカーテンウォール没水深さ d_c は 100 mm である。タービンケーシング内径は 170 mm、ハブ比は 0.7 である。なお、タービン軸端にはプーリとベルトを介して発電機が設置されている。図2は空気室上部に設置した圧力計および波高計の配置を示す。空気室上部開口部は空気室中央に位置し、波高計は左舷側 3 箇所と右舷側 2 箇所に設置した。

図3は衝動タービンの形状を示す。ロータの翼枚数 Z_r は 30 枚、単段の案内羽根枚数 Z_g は 26 枚であり、ロータの入口（出口）角 γ は 60 deg., 案内羽根設定角 θ は 30 deg. である。

本実験では、二次変換効率を求めるため、図4に示すように、タービンを AC 同期モータと入れ替えて、プーリおよびベルトを含む発電機部のエネルギー変換効率を計測した。なお、ここでのタービン軸の時間平均回転速度は、上述の規則波中試験結果と一致している。

3. 実験結果

図5は、従前の実験結果であり、発電機およびタービンの回転速度比 N_g/N_r が 0.5, 0.6, 0.8 の場合の効率を比較している。横軸は電気抵抗値 R である。入射波の波長 λ は、後述の高い一次変換効率を得られる条件 $\lambda L = 6.3$ に対応している。効率 η_1 , η_2 , η および η_3 は以下の式で定義される。

$$\eta_1 = \frac{P_{air}}{P_{wave}} \quad (1)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta}{\eta_1} = \frac{P_{in}}{P_{air}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{wave}} \cdot \frac{1}{\eta_3} = \eta_1 \eta_2 \quad (3)$$

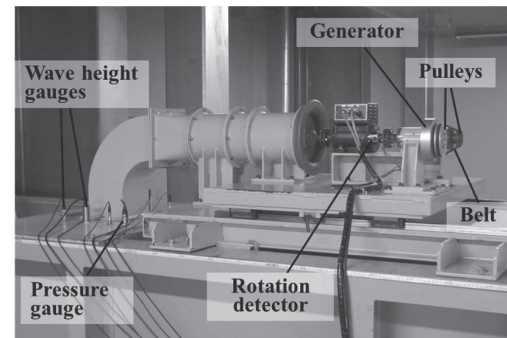
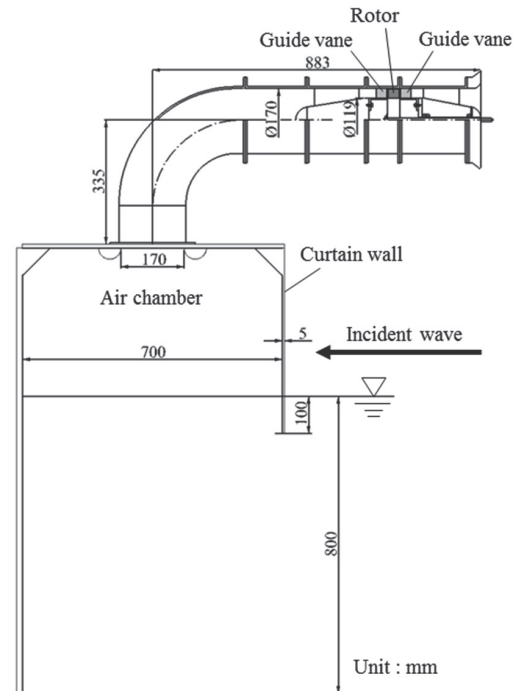


Fig. 1 Model OWC with impulse turbine and generator.

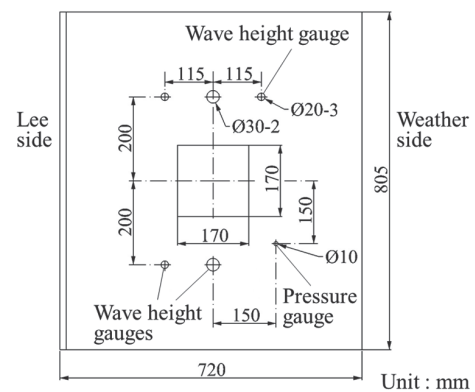


Fig. 2 Positions of pressure and wave height gauges.

$$\eta_3 = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4)$$

ここで、 P_{air} 、 P_{wave} 、 P_{out} および P_{in} はそれぞれ時間平均の空気室内空気パワー、入射波パワー、発電機出力およびモータ入力を表し、これらのパラメータは以下の式で定義される。

$$P_{air} = \frac{S}{T} \int_0^T p(t) \frac{\partial z}{\partial t} dt \quad (5)$$

$$P_{wave} = \frac{1}{2} \rho_w g \zeta_i^2 C_g W \quad (6)$$

$$P_{out} = \frac{V^2}{R} \quad (7)$$

$$P_{in} = T_0 \omega \quad (8)$$

S 、 T 、 p 、 z 、 ρ_w 、 g 、 ζ_i 、 C_g 、 W 、 V 、 T_0 および ω は、空気室水線面積、波周期、空気室内圧力、空気室内 5 箇所平均水位、水密度、重力加速度、入射波振幅、群速度、空気室幅、誘起電圧、タービン出力トルクおよびタービン角速度をそれぞれ表す。

図 5 に示すように、速度比 N_g/N_t がいずれの場合も電気抵抗値 R が 410 Ω から 3040 Ω まで増加するに伴い、二次変換効率 η_2 は単調増加し、 $N_g/N_t = 0.5$ の場合に効率 $\eta (= \eta_1 \eta_2)$ の最大値 0.27 が得られた。このことから、以下の実験では $N_g/N_t = 0.5$ および $R = 3040 \Omega$ の条件を適用した。

図 6 は効率の波長 λ/L 変化を示す。波高 H は 100 mm 一定であり、 d_c を基準の没水深さ 100 mm から 70 mm、150 mm および 200 mm に変更した。横軸の λ/L に対応する波周期は 1.15 s、1.30 s、1.41 s、1.50 s、1.56 s、1.65 s、1.73 s、1.87 s、2.03 s、2.30 s、2.63 s である。図 6 に示すように、 d_c/H が 2.0 から 1.0 へ浅くなるに従い、 η_1 の最大値は増加し、 d_c/H が 1.0 および 0.7 の場合はほぼ同じ高い値を示した。一方、二次変換効率 η_2 の最大値においては d_c/H による違いは見られなかった。その結果、 $d_c/H = 1.0$ 、0.7 の場合にほぼ同じ効率 η の最大値 0.27 が得られた。

図 7 は発電機部の効率 η_3 である。 d_c/H がいずれの場合も λ/L が 2.9 から 4.9 へ増加するに伴い、 η_3 は急激に増加し、波長が $\lambda/L = 4.9$ よりも長い領域ではこの増加傾向は緩やかになった。これらの傾向はタービン回転速度に依存している。

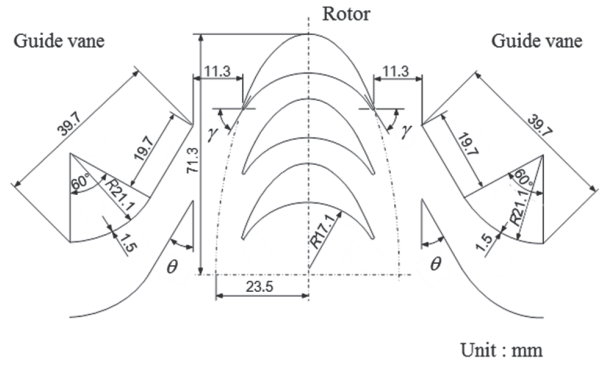


Fig. 3 Configuration of rotor and guide vane.

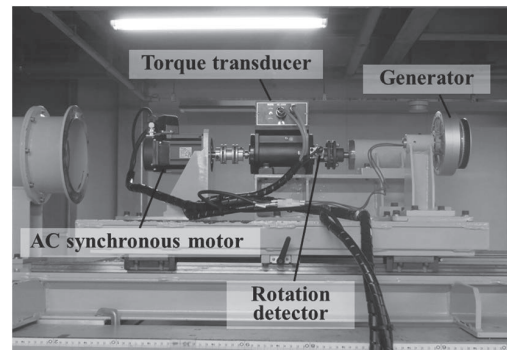


Fig. 4 Arrangement of test devices to measure efficiency of generator, pulleys and belt.

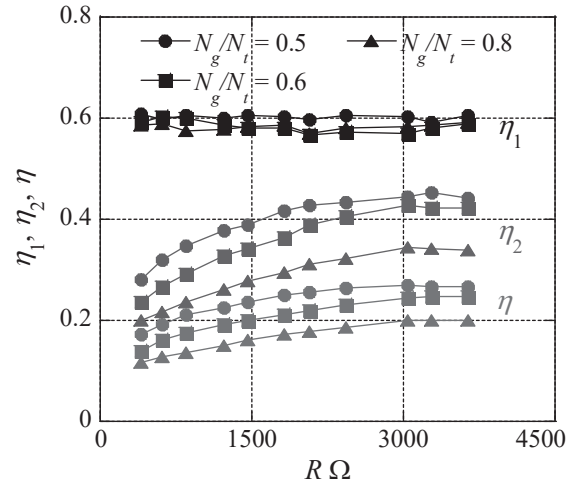
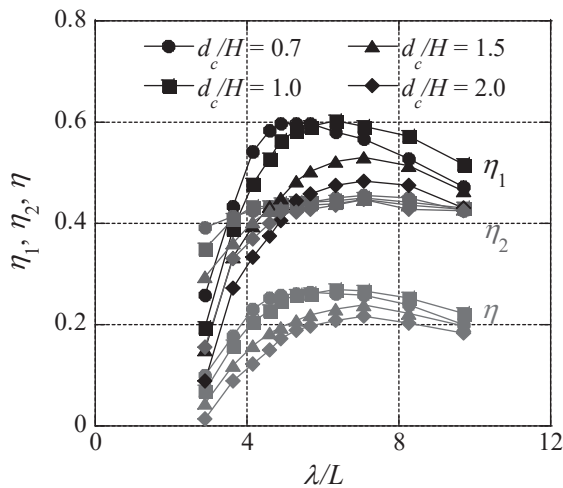


Fig. 5 Changes in efficiencies due to electric resistor.

Fig. 6 Changes in efficiencies due to λ/L .

次に、図8および図9は空気室内圧力振幅および水位振幅である。圧力振幅の最大値は、 d_c/H がいずれの場合も図6に示した η_1 の最大値が確認された波長 λ/L 近傍で得られた。一方、水位振幅においては図9に示すように、波長が長くなるにつれて単調増加した。

さらに、図10は上述の水槽実験および、空気室下部をアクリル板で塞ぎ、遠心ファンで定常流を発生させた波の影響が無い定常流試験で得られた二次変換効率を比較している。なお、横軸の流量係数 ϕ は以下の式で定義される。

$$\phi = \frac{v_a}{U} \quad (9)$$

ここで、 v_a および U はそれぞれタービン部軸流速度、平均半径 $r [= D(1+\nu)/4]$ 、 ν : ハブ比]における周速度を表す。

d_c/H がいずれの場合も、波長が $\lambda/L = 2.9$ から長くなり、タービン回転速度が高くなるに従い、運転流量範囲は低流量側へと移行し、その結果、定常流試験結果のピーク値とほぼ同レベルの二次変換効率の最大値 $\eta_2 = 0.45$ が達成された。

4. 結 言

本研究では、衝動タービンと発電機を装備した固定式OWC型波力発電装置のエネルギー変換効率に及ぼすカーテンウォール没水深さおよび波長の影響を実験的に検証した。カーテンウォール没水深さは $d_c/H = 0.7, 1.0, 1.5$ および 2.0 の4通り、波長は $\lambda/L = 2.9$ から 9.7 まで段階的に変化させた。その結果、 $d_c/H = 0.7$ および 1.0 の場合に、ほぼ同じ高い一次変換効率を得られることが明らかになった。

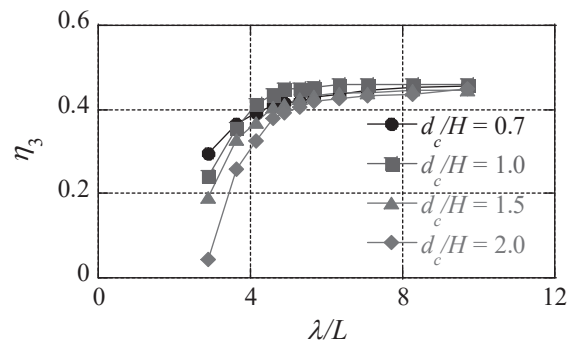


Fig. 7 Energy conversion efficiency of generator, pulleys and belt.

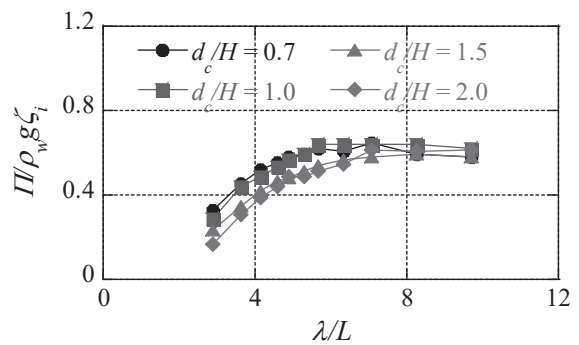


Fig. 8 Pressure amplitude in air chamber.

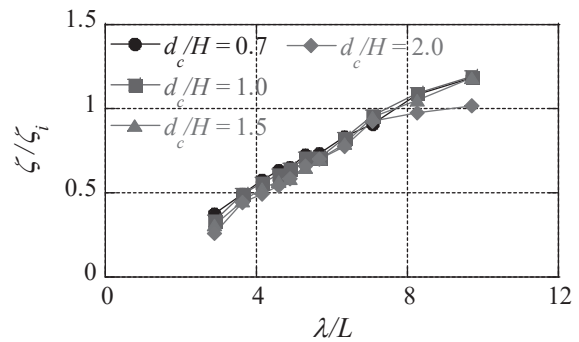


Fig. 9 Water surface elevation in air chamber.

謝 辞

本研究の一部は、経済産業省/三菱総合研究所受託研究「新エネルギー等共通基盤整備促進事業」の一環で実施された。

文 献

Takahashi, S., Ojima, R., Suzumura, S., Air Power Pneumatic-Type Wave Power Extractors due to Irregular Wave Actions - A Study on Development of Wave Power, 3rd Report, Port Harbour Research Institute, Vol.24, No.1 (1985), pp.3-41.

Takao, M., Setoguchi, T., Air Turbines for Wave Energy Conversion, International Journal of Rotating Machinery, Vol.2012 (2012), Article ID 717398, doi:10.1155/2012/717398, 10 pages.

Setoguchi, T., Santhakumar, S., Maeda, H., Takao, M., Kaneko, K., A Review of Impulse Turbines for Wave Energy Converter, Journal of Renewable Energy, Vol.23 (2001), pp.261-292.

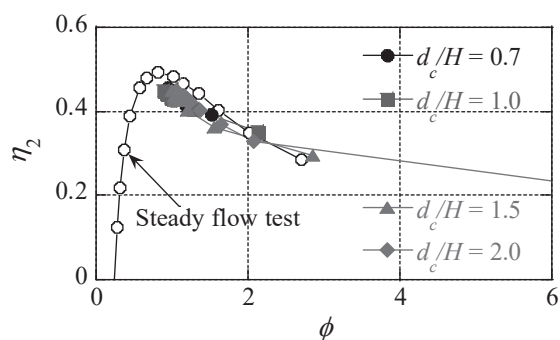


Fig. 10 Variation of secondary conversion efficiency due to flow rate.