

後ろ曲げダクトブイ型波力発電装置の逆向き漂流力に関する 実験的研究

今井康貴, 豊田和隆, 永田修一, 瀬戸口俊明,
小田純子, 松永成正, 白石健二

Experimental study of negative drift force acts on a "Backward Bent Duct Buoy"

Yasutaka IMAI, Kazutaka TOYOTA, Syuichi NAGATA, Toshiaki Setoguchi,
Junko ODA Narimasa MATSUNAGA and Kenji SHIRAISHI

Institute of Ocean Energy, Saga University
Kubara 1-48, Imari, Saga, 8494256, JAPAN

Experiments under a various wave periods are carried out in order to clarify characteristics and cause of generation of reverse wave drift force acts on BBDB(Backward Bent Duct Buoy) in regular waves with two-dimensional wave tank. To measure the wave drift force, the model is moored with horizontal wire. The motion of the BBDB is measured by remotely using image processing. Motion of BBDB without mooring is also carried out to measure the horizontal velocity of BBDB in waves.

The feature of the negative drift force discovered in the last experiment is; (1) The flow velocity at the duct is large at a negative drift. the negative drift force is not detected at the duct velocity is small, (2) pitch and heave are large at negative drift. The center of rotation pitch is located at the air chamber, and its rotation amplitude was 5 degree.

These conditions are required to generate the negative drift force. To verify these conditions, three experiments are performed. The mechanism of the negative drift force is discussed using the results of three experiments.

Key Words : Backward Bent Duct Buoy, BBDB, drift force, wave energy converter

1. 緒 言

後ろ曲げダクトブイ (Backward Bent Duct Buoy, 以下 BBDB と呼ぶ) は浮体型波力発電装置の一種である。1986 年に Masuda ら¹⁾ によって提案された形式であり、Fig.1 に示すように、浮体式の振動水柱型 (Oscillating Water Column: OWC) の波力発電装置で、空気室、L 字形ダクト、浮力体、タービンおよび発電機から構成される。

従来の浮体型発電装置と比較して、①BBDB の一次変換効率、他の浮体型 OWC の一次変換効率より高い、②BBDB の一次変換効率が最大となる波の波長は、浮体長さの 4 倍程度となるため、浮体の長さが短くて良い、

③BBDB は、入射波の特定の周波数帯において、波上側へ微速前進する性質を持つため、多数の周波数帯の波が混在する実海域では、波下方向に働く波漂流力を低減でき、係留コストを低減できる等の利点がある。

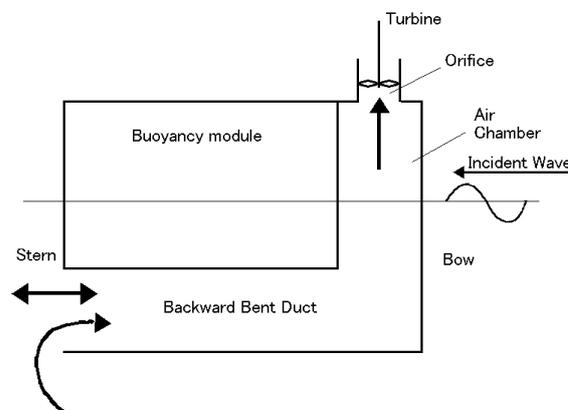


Fig.1 Concept of BBDB wave energy converter

実験によって得られた漂流力を Fig4 に示す。漂流力は $0.5 \rho g L \zeta^2$ で無次元化した。 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 L は BBDB の全長、 ζ は入射波振幅である。図中、正の漂流力は波下側方向の力を示す。また、負の漂流力は波上側方向の力を示す。入射波波長が短い範囲 ($\lambda/L=2\sim4$) において比較的大きな正の漂流力を受ける。漂流力は $\lambda/L=2.6$ において最大になる。波周期が $\lambda/L=2.6$ より大きくなると漂流力が減少し、空気孔径 40mm の場合 $\lambda/L=5.0\sim6.5$ 、孔径 30mm の場合 $\lambda/L=5.3\sim7.0$ において負の漂流力が発生する。負の漂流力は直径 30mm より直径 40mm の方が大きく、直径 40mm の方がより短い波長において発生する。

Fig5 は、空気孔径 40mm の場合における空気内の 2 カ所の水位変位振幅とそれらの平均の周波数特性を示す。これらは、BBDB 固定座標系の下で、空気室内部水面の静水面位置からの水位変動を示している。水位変動は入射波振幅 ζ で無次元化している。Fig6 は、空気孔径 30mm、40mm の場合について、空気室内の 2 カ所の水位変位振幅の平均の周波数特性を示す。また、Fig7 に無次元化した空気室内部圧力の変動振幅を示す。圧力を $\rho h \zeta$ で無次元化している。内部波高振幅は直径 30mm より 40mm の方が大きい。 $\lambda/L=4$ 近傍で、空気室内水位が最大になるために圧力が最大になると考えられる。漂流力が極小になる $\lambda/L=5.5$ 近くにおいて内部波高振幅も極小になる。 $\lambda/L=6$ より入射波波長が長い場合、入射波振幅の 1.0~1.5 倍程度の内部波高変動を示すが、運動周期が長いため高圧力に結びつかないと考えられる。圧力は空気孔径 30mm、40mm とともに $\lambda/L=4$ 近くにおいて最大圧力が発生する。最大圧力は孔径 30mm の方が孔径 40mm の方が高く 1.2 倍程度高い圧力が発生することが分かる。

空気孔径 40mm の場合における BBDB 模型の重心位置の運動振幅の周波数特性を Fig8 に示す。 x は surge 方向、 z は heave 方向の運動振幅を表す。また θ は重心まわりの回転運動振幅を示す。入射波周期が比較的短い場合 ($\lambda/L < 3$) においては Surge が大きく、Heave および Pitch が小さい。 $\lambda/L=3\sim5$ の範囲では Surge が小さくなり、Heave および Pitch が増加する。Heave および Pitch は $\lambda/L=5.3$ 付近で最大となり、 $\lambda/L=5.3$ より長波長の場合には減少する。Surge と Heave は波漂流力が最小となる $\lambda/L=5.3$ で極小値をとる。

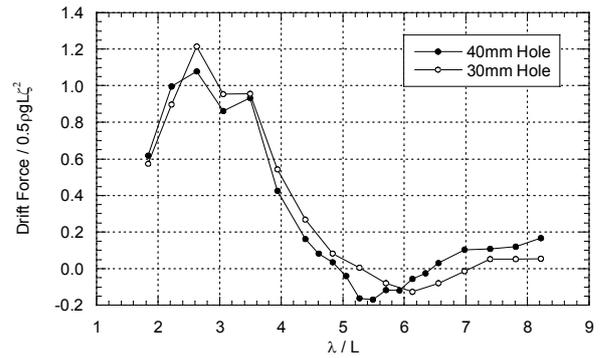


Fig.4 Drift force acts on BBDB

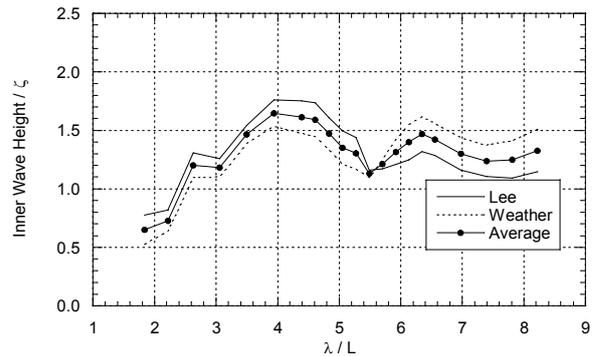


Fig.5 Inner wave height in the air chamber (40mm Hole)

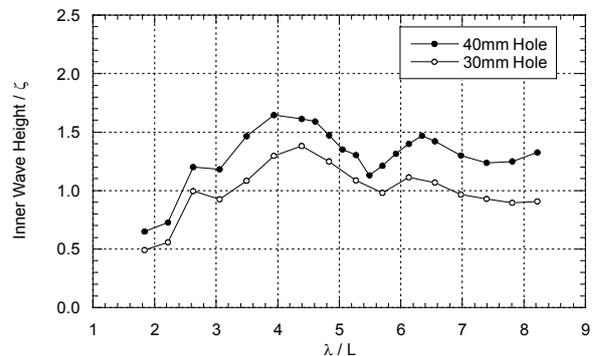


Fig.6 Inner wave height in the air chamber

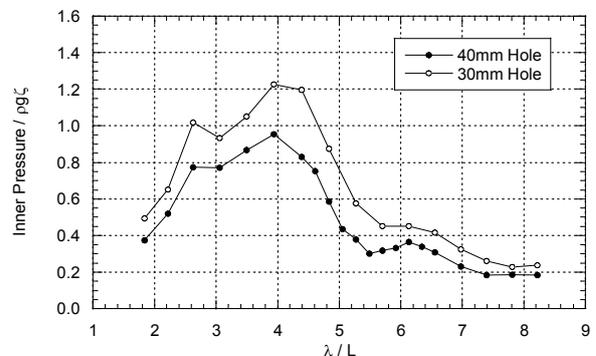


Fig.7 Inner pressure in the air chamber

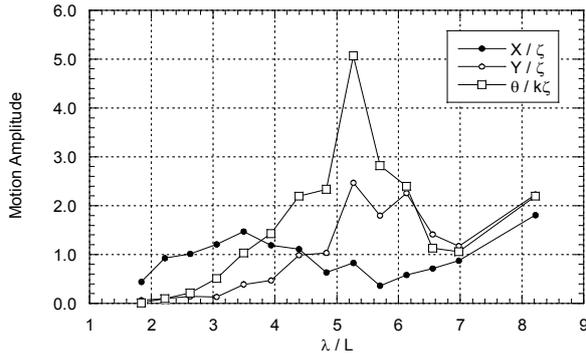


Fig.8 Motion of BBDB (40mm Hole)

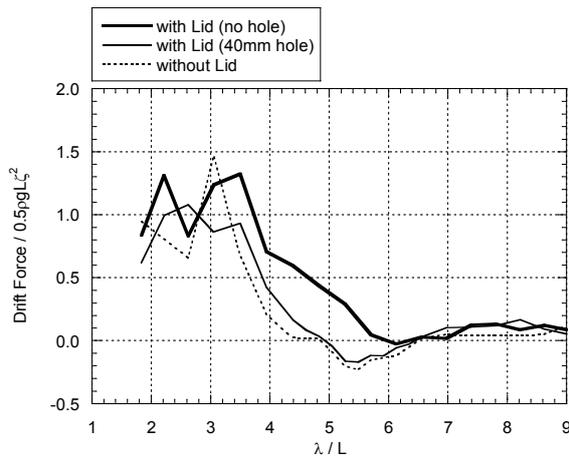


Fig.9 Drift force acts on BBDB without hole

空気孔を密閉しダクト内水流を止めた場合の漂流力を Fig.9 に示す。with Lid (no hole)が空気孔を塞いだ場合、with Lid (40mm hole)が40mm 空気孔の場合、without Lid が空気室天井を外し大気解放した場合である。空気孔40mm の場合は $\lambda/L=5-6.5$ において負の漂流力が見られるが、空気孔を塞ぐと負の漂流力が発生しない。空気孔を塞ぐことにより空気室ダンピング効果が無いためと考えられる。

以上より、負の漂流力について以下の知見が得られた。

- ・ ダクト内に水流変化が無い場合には負の漂流力は発生しない。
- ・ 負の漂流力発生時にはダクト出口における流速変化が大きく、大きな渦が発生する。
- ・ 負の漂流力発生時には縦揺および上下揺が大きい。縦揺は模型前部の空気室を回転中心とし、その回転振幅はおおよそ5度であった。

3. 本年度実験

負の漂流力は前節の条件を満足しなければ発生しない。この原因として、(A)空気室を中心とした縦揺、(B)ダクトから出入りする流体運動量の差が考えられる。そこで、この条件を検証するために実験(1)~(3)を行った。

実験(1) ディフラクション試験における定常力

負の漂流力発生の原因の1つとして、ダクトに入る流体の運動量とダクトから出る流体の運動量の差が考えられる。そこで、模型を固定した状態で波下側に作用する定常力(漂流力)を計測した。これによりダクトを出入りする流体運動量の差の影響を見ることができる。

Fig.10 に漂流力を示す。ダクトに入る流体の運動量変化だけでは負の漂流力が発生しないことが分かる。定常力は入射波周期に関わらず波下側に向かって作用している。

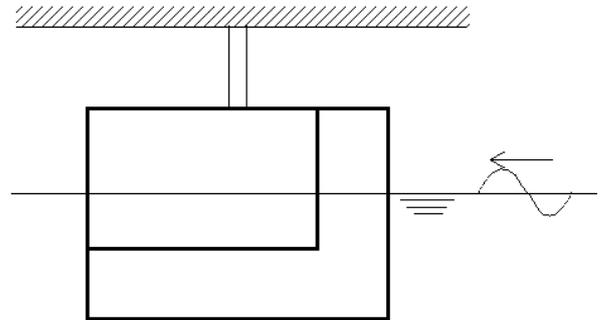


Fig.10 Arrangement of fixed BBDB

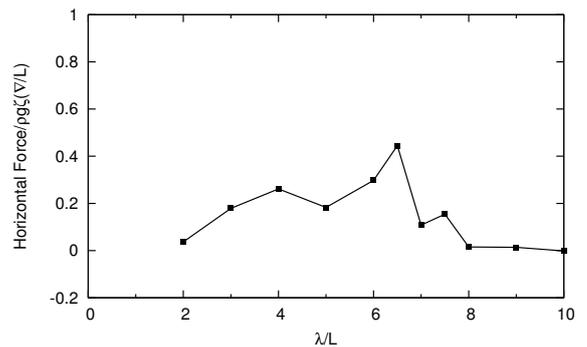


Fig.11 Arrangement of fixed BBDB

実験(2) 縦揺および上下揺を拘束した場合の漂流力

上下揺れ及び縦揺れが漂流力に及ぼす影響を見るため、Fig.12 のように水槽上端に沿ってレールを取り付け、前後方向以外の模型の動きを拘束した、この状態で波を入射させ漂流力を計測した。この状態で計測した波漂流力を Fig.13 に示す。どの波長においても、負の漂流力は計測されな

った。つまり、負の漂流力が発生するためには縦揺および上下揺が必要であった。

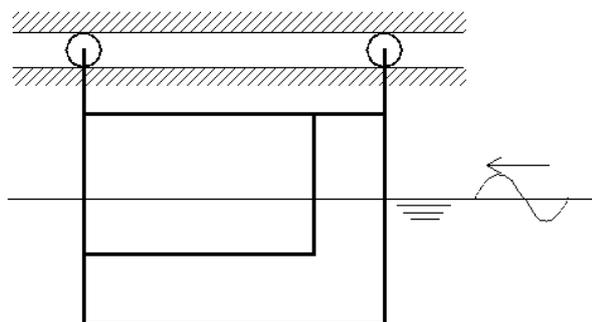


Fig. 12 Arrangement of fixed pitch and heave

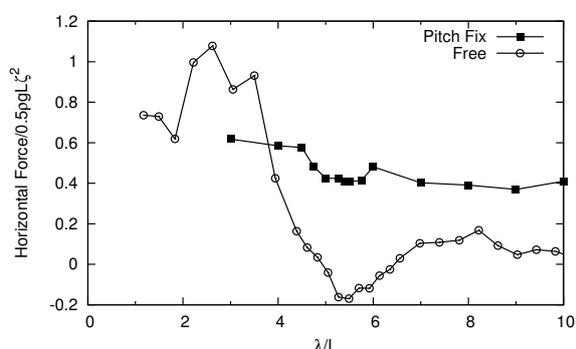


Fig. 13 Drift force acts on BBDB (pitch and heave fixed)

実験(3) 空気室を中心とした縦揺による推進力

負の漂流力が発生するときには模型が空気室中心の縦揺をしていた。つまりその運動により推進力が発生していると考えられる。そこで静水中において強制的に模型空気室を中心とした縦揺をさせ、運動による定常推進力を計測した。Fig14に実験配置を示す。強制動揺装置の限界により縦揺れ振幅は20度とした。Fig15に水平方向定常力を示す。漂流力同様、波下側へ向かう方向を正にとっている。定常力はほぼゼロであるが、一部負の値を示しており、空気室中心の縦揺により負の方向の漂流力、つまり推進力が発生している。

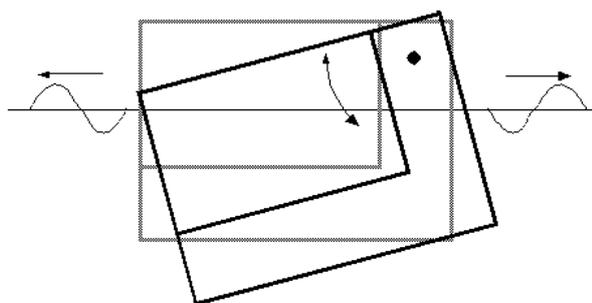


Fig. 14 Forced pitch which center is located at air chamber

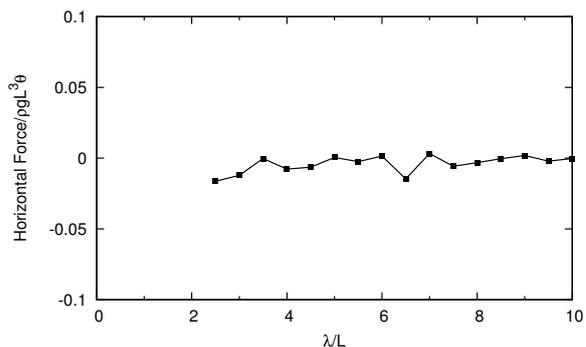


Fig. 15 Stationary force act on forced-pitch BBDB

以上、実験(1)~(3)をまとめると、負の漂流力の原因について以下のように考えることができる。実験(1)より波下側へ向かう漂流力は常に発生している。実験(2)より縦揺れを拘束した場合には負の漂流力が発生しなかった。実験(3)より空気室中心の強制縦揺れによって推進力が発生することが分かった。

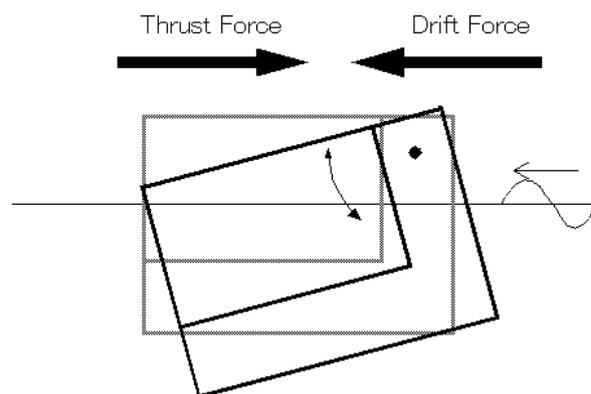


Fig. 16 Thrust force induced by pitching motion

つまり、Fig16に示すように、負の漂流力が発生する周波数帯では、BBDBの空気室を中心とした縦揺れ・上下揺運動が大きくなり、それともなう推進力が発生する。この推進力が漂流力に打ち勝った場合に負の漂流力が発生、模型が波上側へ向かって微速前進する減少が発生すると結論付けられる。

4. 結 言

昨年度は二次元水槽実験を行い、規則波中でのBBDBの運動、BBDBに作用する漂流力を計測し、波浪中でBBDBに働く負の漂流力の特徴を調べた。本年度は負の漂流力の発生原因を解明するため三種類の実験を行った。その結果、以下の結論が得られた。

(1) 波下側に向かう漂流力（正の漂流力）はどの波長においても発生している。

(2) 負の漂流力が発生する周波数帯では、BBDB 空気室を中心とした縦揺れ・上下揺動が大きくなり、それともなう推進力が発生する。この推進力が漂流力に打ち勝った場合に負の漂流力が発生、模型が波上側に向かって微速前進する減少が発生する。

今後、実際の海象のような不規則入射波における漂流力を実験および数値計算にて検討する予定である。

参考文献

1. Masuda Y. "Experience in Pneumatic Wave Energy Conversion in Japan", Proceeding of ASCE Specialty Conference on Utilization of Ocean Waves-Wave to Energy Conversion, 1986
2. McCormick, M.E. "Ocean Wave Energy Conversion", A Wiley - Interscience Publication, 1981
3. McCormick, M., Sheehan, W. "Positive Drift of Backward Bent Duct Barge", Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol 118, No.1, pp 106-111, 1992.
4. Kim J.H., Lew J.M., "An Experimental Study on the Reverse Wave Drift Force of a BBDB Type OWC Wave Energy Device", Proc. of the Fifteenth ISOPE Conference, 2006
5. Hong, D.C., Hong, S.Y., and Hong, S.W. "Numerical Study on the Reverse Drift Force of Floating BBDB Wave Energy Absorbers", Ocean Engineering, Vol 31, No 10, pp 1257-1294, 2004.
6. Hong D.C., Hong S.Y., Hong S.W., "Numerical study of the motions and drift force of a floating OWC device", Ocean Engineering 31, 139-164, 2004.
7. Nagata S. et al., "Experimental Research on Primary Conversion of a Floating OWC "Backward Bent Duct Buoy", Proc. of the Sixteenth ISOPE Conference, 475-482, 2007
8. 豊田ほか, "浮体型波力発電装置(後ろ曲げダクトブイ)の一次変換性能に及ぼす浮体形状について", 日本船舶工学会講演会論文集,65-69, 2007
9. 永田ほか, "浮体型波力発電装置(後ろ曲げダクトブイ)の一次変換性能に関する実験的研究", 日本船舶海洋工学会講演会論文集,235-238, 2006
10. Toyota K., et al., "Study on Motion of Backward Bent Duct Buoy in Regular Waves", Proceedings of Renewable Energy 2006, CD-ROM, 2006.