

倒立振り子の流力振動を用いた潮流発電のエネルギー取得性能

岡山大学大学院 学生会員 ○岡 圭人 岡山大学大学院 正会員 比江島慎二
三井造船(株) 正会員 林 健一 三井造船(株) 正会員 井上 浩男

1. はじめに

潮流は風力や太陽光に比べ、気象の影響を受けず極めて安定性が高いことから世界的に注目されている。われわれは、円柱振り子の流力振動を用いた新しい潮流発電を開発中である¹⁾。円柱下端を回転軸とした倒立振り子構造であり、円柱に作用する浮力を復元力として振動するためバネを必要とせず、極めてシンプルな構造である。本研究では倒立振り子の流力振動によるトルク、仕事率、性能係数などの発電に重要な力学特性を明らかにするため、(株)三井造船昭島研究所の回流水槽で振動実験を行った。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig.1 に示す。倒立振り子下端に回転軸を設け、回転軸の回転運動をプーリーとベルトでトルクセンサーに伝達し、振り子振動時のトルクと角速度をトルクセンサーで測定した。トルクと角速度を乗じて得られる仕事率の時刻歴から仕事率 rms 値 P を算出した。また、トルクセンサーで計測したトルクをプーリーのギヤ比に応じて倒立振り子回転軸におけるトルクに変換し、その rms 値 T も求めた。倒立振り子は市販の塩ビ管で、直径 $D = 75\text{mm}, 115\text{mm}, 165\text{mm}$ 、長さ $L = 500\text{mm}, 700\text{mm}, 900\text{mm}$ の組み合わせで計 9 種類を用いた。塩ビ管両端にはキャップを付けて内部への水の侵入を防ぐ。静水中

の自由振動で求めた各振り子の固有振動数を Table 1 に示す。

Table 1 倒立振り子の固有振動数

	$L = 500\text{mm}$	$L = 700\text{mm}$	$L = 900\text{mm}$
$D = 75\text{mm}$	0.59Hz	0.49Hz	0.42Hz
$D = 115\text{mm}$	0.67Hz	0.56Hz	0.51Hz
$D = 165\text{mm}$	0.64Hz	0.57Hz	0.49Hz



Fig.1 実験装置の概略

3. 実験結果

3.1 振り子上流に固定円柱を設置した場合

予備実験¹⁾では、倒立振り子上流に別の固定円柱を近接設置するとき、ウェイクギャロッピングに類似した自励的な振動が発生したことから、本実験でも倒立振り子と同直径の固定円柱を用いた。様々なトルク負荷を与え、各流速での最大仕事率を探索した。Fig.2 に各流速の最大の仕事率 P とそのときの回転軸トルク T 、性能係数 η を示す。 η は倒立振り子の流れ方向投影面に単位時間に流入する流体エネルギーに対する P の割合である。倒立振り子は一種のてこであり、同一 D では L が大きいほど T が増加しており、 P も同様に L の増加とともに増加する。 U, D が同一で L が異なるケースの比較から、 T, P はそれぞれ L の 2.7 乗と 2.3 乗に比例することが明らかとなった。一方、 L が同一のときは D による T, P の変化はそれほど大きくないことから、 T, P は D によらず L で決まる傾向がある。 T, P はいずれのケースも流速 U とともに増加しているが、同一 L の下では P はおよそ U の 3 乗で増大している。

同一 L では D によらず P がほぼ等しいので、 D が小さくて振り子投影面に流入する流体エネルギーが小さいほど η が高くなる傾向が見られる。また、振り子投影面に流入する流体エネルギーは L に比例し、 P は L の 2.3 乗に比例するため、 η は L の 1.3 乗に比例することになるが、 η のグラフによれば、やはり同一 D では L が長いほど η が高くなる傾向がある。これらの結果から、 D が小さく L が長い、すなわち振り子のアスペクト比が大きいほど η は高くなると言える。Fig.2 では $D = 75\text{mm}, L = 700\text{mm}$ の $U = 0.7\text{m/s}$ で最大の性能係数 $\eta = 55\%$ が得られたが、Fig.2 を見ると U をさらに高くすればより高い η が得られるように思われる。また、 $D = 75\text{mm}$ の $L = 900\text{mm}$ および $D = 115\text{mm}$

キーワード：潮流発電，流力振動，円柱，倒立振り子

連絡先：岡山市津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境学研究所 社会基盤環境学専攻 電話 086-251-8869 ev19208@s.okayama-u.ac.jp

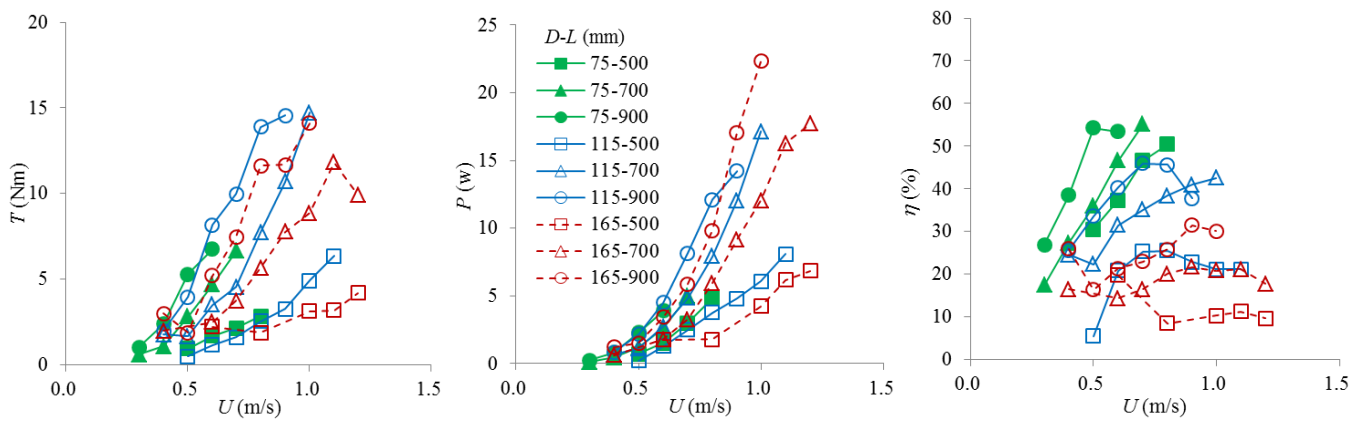


Fig.2 上流固定円柱設置時の回転軸トルク，仕事率，性能係数

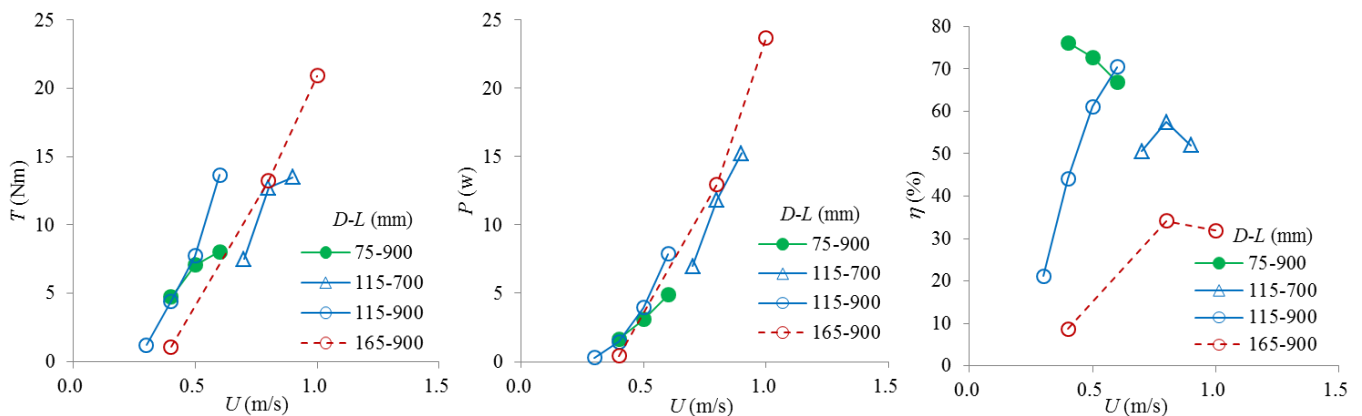


Fig.3 倒立振り子単独振動時の回転軸トルク，仕事率，性能係数

の $L = 700\text{mm}$, 900mm のそれぞれ最大流速のケースでは，非常に大きな励振力によってトルク負荷装置のトルク負荷が不足したため最大仕事率の探索が充分にできておらず，さらに高い P や η が得られる余地が残されている。

3.2 倒立振り子単独で振動させた場合

予備実験¹⁾では固定円柱を用いずに倒立振り子を単独設置した場合，固定円柱設置時に比べて流況振動が発現する流速範囲が狭まり，振り子の応答も低下する傾向が見られた．同様な結果が得られるか確認するため単独振動させた結果を Fig.3 に示す．固定円柱を用いた Fig.2 と同様に，流速 U の増加とともに回転軸トルク T や仕事率 P は急激に上昇しており，以前の予備実験と異なり意外にも固定円柱を用いたときと同等の高い T や P が得られた．むしろ，Fig.2 の固定円柱設置時よりも Fig.3 の倒立振り子単独の方が T や P が高い．性能係数 η についても， $D = 75\text{mm}$ ， $L = 900\text{mm}$ の倒立振り子では本実験の全てのケースの中で最大の $\eta = 76\%$ にも達している．しかも， $D = 75\text{mm}$ ， $L = 900\text{mm}$ の $U = 0.5\text{m/s}$, 0.6m/s のケースは，前記と同様にトルク負荷が不足して最大仕事率の十分な検討ができておらず，より高い η が得られる可能性が残されている．

4. まとめ

回転軸トルクと仕事率は，振り子直径によらず，振り子長さで決まる傾向があり，それぞれ振り子長さのおよそ 2.7 乗と 2.3 乗に比例した．また，回転軸トルクと仕事率は流速が高いほど増大し，長さの比較的長い振り子では仕事率は流速のほぼ 3 乗に比例した．アスペクト比が大きい振り子ほど性能係数が高くなる．振り子上流に別の固定円柱を設置することにより，振動が生じにくい環境下であっても安定して振動を励起する効果が期待できるものの，固定円柱を用いずに振り子単独で設置した方が大きな回転軸トルクと仕事率が得られた．性能係数も振り子単独の方が高く，最大で 76% にも達した．

参考文献

- 1) 比江島他：流体励起振動を利用した潮流発電のための基礎的実験，フラッターの制御と利用に関する第 1 回シンポジウム，pp.88-93, 2011.