

釣瓶式波力エネルギー変換装置の機械力学

山口大学工学部 正 羽田野袈裟義 中野公彦
山口大学大学院 学 ○種浦圭輔 小林孝輔

1. はじめに

当研究室では、フロートとカウンターウェイトを用いた波力エネルギー変換装置を開発中である¹⁾。今回、海面に浮いているフロートに強制振動を加えた振動問題としてフロートの上下動、発生電力などを数値計算によって算出した。その時の諸元は昨年度²⁾の実海域実験を行った際使用したものとし、機械力学モデルを構築した。

2. 機械力学モデル

2.1 計算式

機械力学モデルは、発電機関連の力学、無負荷・静止状態でのフロート・カウンターウェイトの釣合式、発電機稼動状態におけるフロート・駆動プーリ間の動力学により構成される基礎式は次式(1)～(5)によって得られる。ここで、駆動プーリのトルク τ 、発電機の発生電圧 e 、フロート直径 d_f 、フロートとカウンターウェイトの質量を M_f と M_c 、無負荷・静止時のフロートの喫水深 h 、水位とフロートの無負荷・静止時からの上昇量 x_w と x_f で、 G はギア比、 C はプーリの粘性減衰係数、 k_τ と k_e はトルクと誘起電圧の係数である。

$$\tau = -Gk_\tau i \quad (1)$$

$$e = Gk_e \dot{\theta} \quad (2)$$

$$M_c g + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w h g = M_f g \quad (3)$$

$$M_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} = M_c g + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w (h + x_w - x_f) g - M_f g \quad (4)$$

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} = \tau + (f_c - f_f) R_m \quad (5)$$

ここで、式(4)に装置の諸量を用いて次式を得る。

$$\left(M_f R_m + \frac{1}{R_m} \right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{1}{R_m} \left(C + \frac{G^2 k_e k_\tau}{r} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w g R_m \theta = \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w g x_w \quad (6)$$

波を正弦波として仮定すると、この(6)式は強制振動として考えることができる。したがって簡単な数値計算で、正弦波の強制外力によるフロートの振動の様子

をシミュレーションで求めることができる。初期条件はフロートが波の峰まで無負荷で追従し、その時点から発電機が作動開始するという時点で θ を解いて $\dot{\theta}$ の時系列を求め、これらの結果を基礎式に代入して諸量の時系列を求めた。そして、発生電力 P_G の時系列は次式により求めた。

$$P_G = r \cdot i^2 = r \left(\frac{-Gk_e}{r} \right)^2 \dot{\theta}^2 \quad (7)$$

なお、フロート上昇時には発電機が作動しない条件を課し、式(1)、(2)と $e = i \cdot r$ より、トルクの時系列、式(5)よりワイヤー張力 f_f の時系列を $f_c = M_c g$ として求めた。また、フロートの上下動 x_f の時系列は $x_f = R_m \theta$ より計算した。

2.2 システム構成要素の諸元とCの決定

この機械力学モデルを昨年度の実海域試験の結果を用いて検証した。システム構成要素の諸元は、実海域試験で用いた諸元と同じ(表-1参照)にし、プーリの粘性減衰係数 C の値は実験値から同定し、それらの平均値 ($C=876$) を用いて利得電力の実験値と計算値を比較した。これが図-1である。 C はその日の湿度、温度などに作用されるものであり、厳密に特定できるものではないことを考慮しても、計算値は実験値と割合良い一致を示している。

表-1 システム構成要素の諸元

諸 元	代入数値
フロート質量: M_f (kg)	500
フロートの直径: d_f (m)	2
フロートの高さ: l_f (m)	1
カウンターウェイト質量: M_c (kg)	350
ギア比: G	10
駆動プーリの半径: R_m (m)	0.14
駆動プーリの慣性モーメント: I (kg·m ²)	0.123
誘導発電係数: k_e (V/(rpm))	0.092
トルク定数: k_τ (N·m/A)	0.878
内部抵抗: r (Ω)	1.45
重力加速度: g (m/s ²)	9.8
海水の密度: ρ_w (kg/m ³)	1.025×10^3

2.3 実機の計算

発電装置を実海域に設置した場合に種々の波浪条件で、どの程度のエネルギー利得が見込まれるかは最大の関心事である。

ここでは、駆動プーリから発電機までの諸元を現地実験で使用した機械に設定し、発電機、フロートおよびカウンターウェイトを実機の値にしてシミュレーションを行った。発電機の誘導発電係数 k_e 、トルク定数 k_r 、内部抵抗 r は、市販の発電機の諸元を採用し、 $k_e=0.135$ (V/rpm)、 $k_r=1.2838$ (N·m/A)、 $r=0.26$ (Ω)に設定した。フロートは比重が1.1で直径と高さが2mの円柱型のフロートで、無負荷・静止時の喫水率80%となるように設定した。図-2, 3, 4は波高0.5m, 周期3sのときの発生電力、トルク、ワイヤー張力、フロートの上下動、また水位の上下動の時系列を示している。図-2では、トルクの最小値（負の回転モーメント最大値）の時、発生電力は最大となることが示され、波高0.5m, 周期3sで、最大約600Wの発生電力が見込まれることが確認される。また、図-3ではフロートが下降しはじめている時、ワイヤー張力が最大で、上昇し終わった時点で、ワイヤー張力が最小である。図-4では水位が上昇した後、約0.5s後にフロートが遅れて上昇していることが示されている。

3. 結語

本研究の主要な結果は以下のようなものである。

(1) 今回の機械力学モデルは、規則波によるフロートの強制振動と考え、数値計算を行い、その計算結果（発生電力、ワイヤー張力、トルク、フロートの上下動の時系列）は矛盾のないものであることが確認された。

(2) 0.5m, 周期3sで約600Wの発生電力が見込まれることが確認された。

4. 今後の課題

フロートの上昇量 x_f が、水位の上昇量 x_w の1/2倍程度になるように工夫するとともに、円柱型フロートのみならず、球体などのフロートを使用した場合の x_f を算出し、フロートの最適形状を求めていきたい。

参考文献

- 1) 羽田野ら：複数浮体式波力エネルギー変換装置の開発；水工学論文集、第42巻、pp.817-822, 1998.
- 2) 種浦ら：浮体式波力発電装置の発生電力について、土木学会中国支部第54回研究発表会概要集、pp.225-226, 2002.

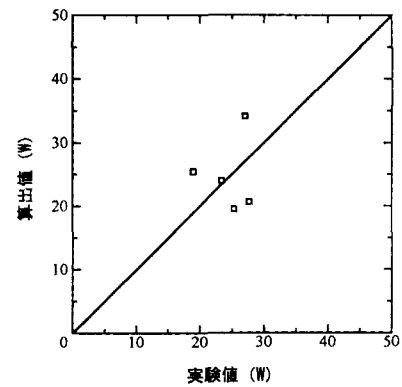


図-1 発生電力の算出値と実験値

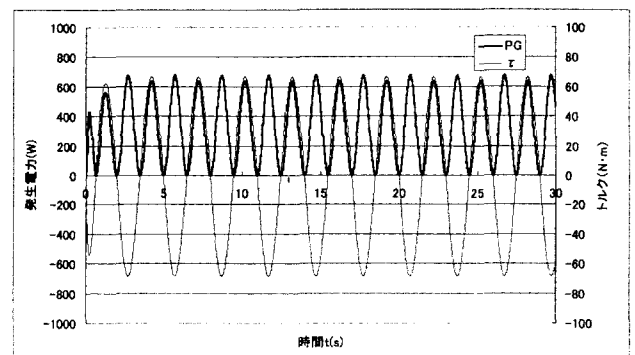


図-2 トルク τ と発生電力 P_g の時系列

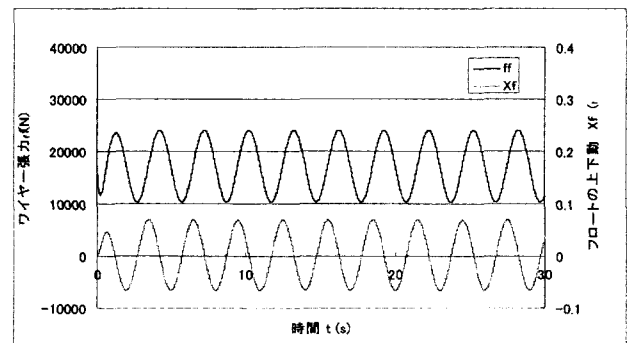


図-3 浮体の上下動 x_f とワイヤー張力 f_f の時系列

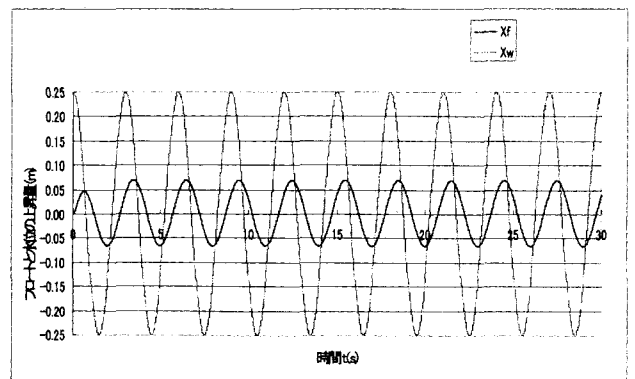


図-4 フロートと水位の上昇量(x_f , x_w)の時系列