

浮体式波力エネルギー変換の力学検討

山口大学大学院 学生会員 ○高橋真・Pallav Koirala

山口大学大学院 正会員 羽田野袈裟義・種浦圭輔

東京大学 生産技術研究所 中野公彦

1. はじめに

当研究室では、プーリ、ワイヤ、フロート、カウンタウエイト、ラチェット機構から構成される浮体式波力エネルギー変換装置を開発中である。この方式は防波堤前面に設けた遊水室内で使用する、強度的にもコスト的にも実施可能との評価を得ている。本研究ではこの場合の稼動状態について機械力学モデルを用いて検討を行った。

2. 機械力学モデル

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・カウンタウエイトのつり合い式、可動状態でのフロートの運動方程式、回転体の運動方程式から構成されている。これらは式(1)～(5)である。フロート、カウンタウエイトの慣性を考慮し、フロートが一部没水、宙吊り、全没水の3つの状態に場合分けをして計算を行ったが、フロートが全没水中吊り状態ではワイヤが急激に張ってしまい非常に危険なため、一部没水状態で検討をおこなっている。また防波堤前面や、大型浮体外周部に設けた遊水室内の水面上下動を利用して稼動する事を想定しているため浮体に作用する水平方向の流体力は考えない。

$$\tau = -Gk_{\tau}i \quad (1), \quad e = Gke \dot{\theta} \quad (2)$$

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

$$M_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} = f_f + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w H_f g - M_f g + \frac{1}{8} C_D \rho_w \times \left| \frac{dx_w}{dt} - \frac{dx_f}{dt} \right| \left(\frac{dx_w}{dt} - \frac{dx_f}{dt} \right) \pi d_f^2 - \frac{1}{4} C_M d_f^2 \rho_w H_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} \quad (4)$$

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

$$f_c = M_c (g + \ddot{\theta}) \quad (6), \quad x_f = R_m \theta \quad (7)$$

ここで、 τ : トルク, M_f : フロートの質量, M_c : カウンタウエイト質量, R_m : 駆動プーリの半径, C : 駆動

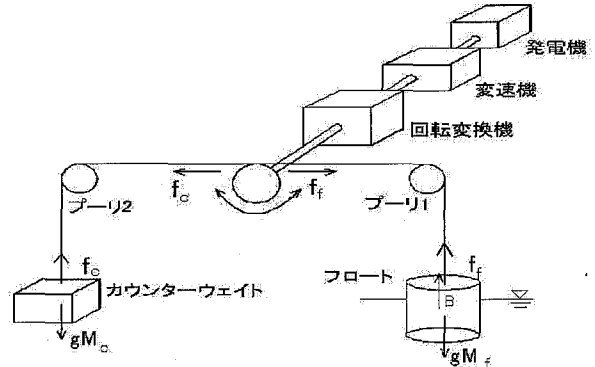


図-1 動力変換の全体のシステム

プーリから発電機までの粘性減衰係数 G : ギア比, k_e : 誘導電圧係数, k_τ : トルク係数, r : 発電機の内部抵抗, d_f : フロート直径, g : 重力加速度, ρ_w : 海水の密度, H : 波高, I : 駆動プーリの慣性モーメント, H_f : フロート高さ, C_D : 抗力係数, C_M : 仮想質量係数, T : 周期である。

これらの式から次の θ に関する支配方程式を得られる。フロートが一部没水状態の時を示すと、

$$\left(\frac{1}{R_m} + (M_f + M_c) R_m + \frac{\rho_w \pi C_M d_f^2}{4} (h + x_w - R_m \theta) R_m \right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{1}{R_m} \left(C + \frac{G^2 k_\tau k_e}{r} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{\rho g \pi}{4} d_f^2 R_m \theta = \frac{\rho g \pi}{4} d_f^2 x_w \quad (8)$$

$$+ \frac{1}{8} \rho_w \pi C_D d_f^2 \left| \frac{dx_w}{dt} - R_m \frac{d\theta}{dt} \right| \left(\frac{dx_w}{dt} - R_m \frac{d\theta}{dt} \right)$$

3. 実験の検討

3. 1 実験概要

本実験は三菱重工業(株)長崎研究所の耐航性能水槽(平均水深3.2m, 幅30m, 長さ160m)で行われた。装置緒元は表-1に示す。周期/波高の条件は次のように設定した。1.8秒/0.32m, 2.0秒/0.25m, 3.0秒/0.14m, 3.5秒/0.24m, 4.0秒/0.27m, 4.5秒/0.15m, 5.0秒/0.10m。周期3秒以下では来襲波によりフロートが著しいピッチングを起こし、エネルギー変換ができなかった有意のエネルギー変換が行われた波浪条件を表-2に示す。

表 - 1 実験時の装置緒言

フロート	比重 ρ (kg/m ³)	745.7
	高さ H_f (m)	0.7
	直径 D_f (m)	2
	喫水率	0.5714
	質量 M_f (kg)	1680
カウンターウェイト	質量 M_c (kg)	150
駆動プーリ	半径 R_m (m)	0.18
ギア	ギア比 G	41.36

表-2 実験条件

実験	波高	周期
	H (m)	T (s)
1	0.27	4
2	0.24	3.5

3. 2 実験の考察

粘性減衰係数 C は実験データからワイヤ張力とワイヤの走行速度の積で計算した仕事率の時間平均と計算で得られた仕事率の時間平均より求めた。図-2 は $C_D = C_M = 1.0$ の場合の仕事率の計算値と実験値を比較したものである。この図からこの実験における粘性減衰係数 C は $1600 \text{ (N} \cdot \text{m} \cdot \text{s)}$ と同定した。図-3 は実験 1, 2 の仕事率の実験値と計算値を比較したものである。実験の時系列ではフロートの振動等によると思われる変動が見られる。また 2 つの実験とも計算値の位相は実験値の位相より先行しているが、実験 1 に比べて周期の短い実験 2 のほうが大きな位相のずれが著しい。

図-4 は C_D , C_M の変化によるフロートの変位の相違を検討した。計算では C_D と C_M の効果を浮き出させるため粘性減衰係数 $C = 150$ と小さい値にしている。それによると C_D はフロートの変位を減少させ、 C_M はフロートの位相を遅らせていることがわかる。

4. 結論

- (1) 機械力学モデルによる仕事率の時系列は実験の時系列に先行するが、相対的に見て一応の目安を与えている。
- (2) C_D , C_M の効果として C_D はフロートの変位を減少させ、 C_M はフロートの変位を遅らせる。
- (3) 粘性減衰係数 C が大きくなると C_D , C_M の効果が薄れる。

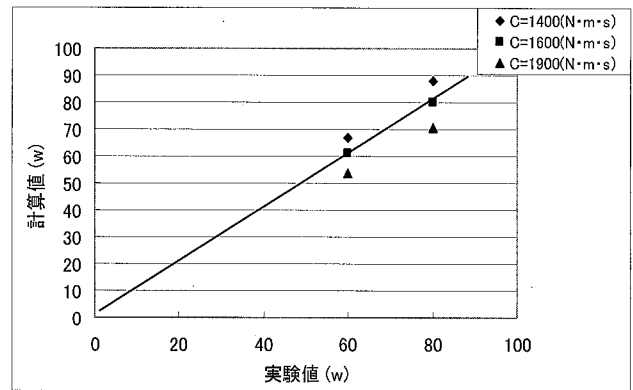
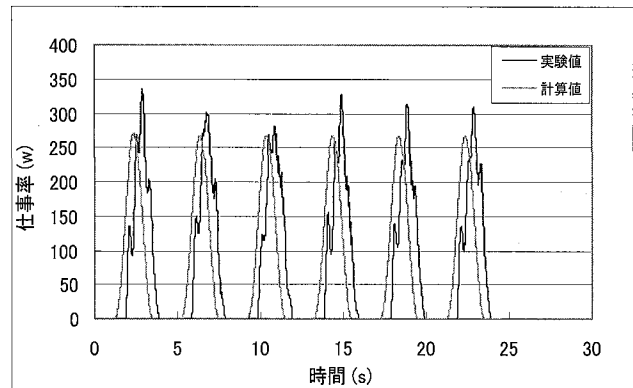
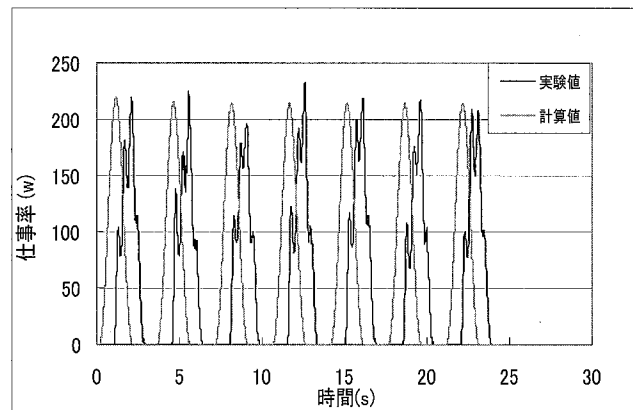


図-2 粘性減衰係数 C の決定



実験 1



実験 2

図-3 仕事率の時系列の比較

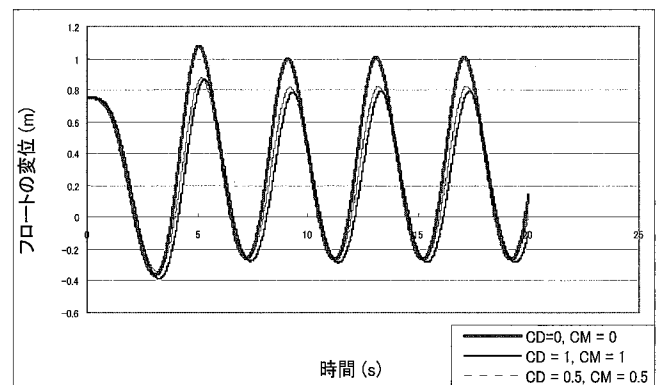


図-4 フロートの変位と C_D , C_M の関係