

浮体式波力発電装置の発生電力について

山口大学大学院 学○種浦圭輔 山口大学工学部 正 羽田野袈裟義
山口大学工学部 中野公彦 中国水工(株) 正 大木協

1. はじめに

当研究室では、フロートとカウンタ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⁾。本研究では、このシステムの小スケールの実海域試験を行った。また、利得電力を評価するための簡便な機械力学モデルを構築してその検証を行うと共に、実海域で実施する場合のエネルギー利得の見積もりを行う。

2. 実海域実験

2.1 実験の概略

実験装置の全体的な概略図を図-1に示す。駆動プーリに係合したワイヤの両端にフロートとカウンタウェイトを連結し、波によるフロート上下動の動力をワイヤの張力を介して駆動プーリの反転反復運動に変換する。この運動をラチェット機構内蔵の回転変換機により一方向の回転運動に変換したのち、変速機により増速して発電機を回す。なお、実用機は利得電力の高出力化と平滑化を図るため、フロート・カウンタウェイト・回転変換機の複数の組と、一組の弾み車・変速機・発電機で構成する。実験機の主要な諸元として、フロートは直径2 m、高さ1 m、質量500kgの円筒形で、カウンタウェイトは質量調節可能で実験では350kgとした。また、フロートの近くには水位測定用にゲージを設置した。

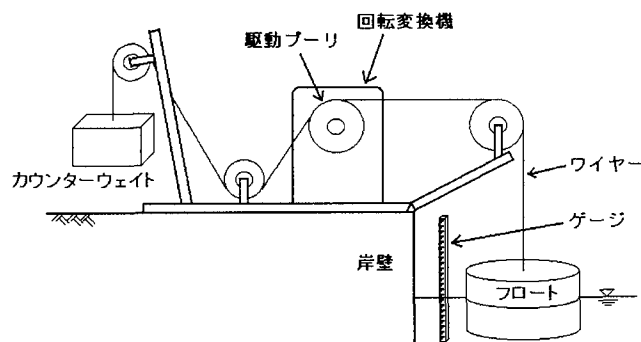


図-1 実験装置の概略

2.2 実験方法

実験では、まずデジタルビデオカメラにより電流計の指針の様子を2分間撮影し、次いで水面変位の様子を1分間撮影する。これらの作業を30分毎に繰り返した。一連のビデオ撮影は約2時間半の間に計6回行った。そして、撮影した映像をモニターに映し、各撮影時刻帯における電流計と水面高さを0.5秒間隔で読み取り、時系列データを作成した。この測定では、水位と電流を同時測定できなかったため不規則波の取扱いに準じた方法をとった。すなわち、ゼロアップクロス法により、1/2最大波の波高 $H_{1/2}$ と周期 $T_{1/2}$ 、1/3最大波の波高 $H_{1/3}$ と周期 $T_{1/3}$ および 1/5最大波の波高 $H_{1/5}$ と周期 $T_{1/5}$ を求めた。また、各撮影時刻における発生電力の大きい方から上記各最大波に対応する順位に対応して発生電力の 1/2 最大、1/3 最大、1/5 最大の実効値を求めた。

2.3 実験結果

実験結果をまとめて表-1に示す。以下この結果を、シミュレーションによる算出値と比較していく。

3. 機械力学モデルとその検証

以上の測定結果を機械力学モデルにより検討する。機械力学モデルは、発電機関連の力学、無負荷・静止の状態におけるフロートとカウンタウェイトの力の釣り合い、発電機稼動状態におけるフロート・駆動プーリ間の力学、そしてこれら全部を統括する全体系の力学、により構成される。なお、簡単のため、水面変位と駆動プーリの回転速度が、振幅がそれぞれ A と D で共通の角速度 ω で単振動するとの仮定を用いた。このとき、発生電力 $\bar{P}_G$ は次式で表現される。

表-1 実海域実験の結果

計測時刻	14:10	14:40	15:10	15:40	16:10	16:40
1/2最大波高 $H_{1/2}(\text{cm})$	33.4	37.57	35.8	42.1	35.22	45.1
1/2最大波周期 $T_{1/2}(\text{s})$	3.26	5.06	3.29	3.53	3.76	4.8
$H_{1/2}/T_{1/2}(\text{cm/s})$	10.2454	7.4249	10.8815	11.9263	9.36702	9.375
1/2最大有効電力 $P_{1/2}(\text{W})$	39.7	39.7	35.52	44.11	40.78	61.36
有義波高 $H_{1/3}(\text{cm})$	41.17	39.6	40.43	47.83	37.83	32.4
有義波周期 $T_{1/3}(\text{s})$	3.3	5.32	3.6	3.42	3.85	4.24
$H_{1/3}/T_{1/3}(\text{cm/s})$	12.4758	7.44361	11.2306	13.9854	9.82597	7.64151
1/3最大有効電力 $P_{1/3}(\text{W})$	65.43	52.38	56.14	58.73	60.04	72.5
1/5最大波高 $H_{1/5}(\text{cm})$	45	43	44.5	53	39.75	51.33
1/5最大波周期 $T_{1/5}(\text{s})$	3.4	5.73	3.425	3.65	4.15	4.73
$H_{1/5}/T_{1/5}(\text{cm/s})$	13.2353	7.50436	12.9927	14.5205	9.57831	10.852
1/5最大有効電力 $P_{1/5}(\text{W})$	56.14	81.46	72.5	64.26	84.56	106.15

$$\overline{P}_G = r \left(\frac{Gk_e}{r} \right)^2 \left| \frac{D}{A} \right|^2 A^2/2 = r \left(\frac{Gk_e}{r} \right)^2 \left(\frac{\beta}{(\delta^2 + \gamma^2)^{0.5}} \right)^2 A^2/2 \quad (1)$$

ここで, $\beta = 0.25\pi d_r^2 \rho_w g R_m \omega$, $\gamma = 0.25\pi d_r^2 \rho_w g R_m^2 - (M_f R_m^2 + I)\omega^2$, $\delta = \omega(C + (G^2 k_e k_r)/r)$

M_f はフロート質量, d_f はフロート直径, R_m は駆動プーリ半径, I は回転体の慣性モーメント, C は駆動プーリの減衰係数, G はギア比, k_e は誘起電圧係数, k_t はトルク定数, r は内部抵抗である. 実際の発生電力は, 上記で求められる値 ($\bar{P}_G$) と波パワー×浮体直径の積 (P_f) の小さい方として評価される. プーリの減衰係数の平均値として $C=490\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ が求められた. 得られた計算値と測定値の比較を図-2 に示す. 図より, 発生電力の算定値は実測値と近い値を示しており, 本研究で構築したシミュレーションモデルは妥当であると言える.

4. 実機で想定された利得電力

次に実際に実施する場合の発生電力の見積もりを行った. 比重 1.1, 直径と高さが共に 2 m, 3 m, 5 m の円筒フロートの場合を評価した. フロートの比重は, 荒天時にワイヤが切れたときに自動沈下することを考慮して設定した. 回転変換機から発電機までの諸元は今回使用した装置のものに一致させた. また発電機の諸元, すなわち誘導電圧係数, トルク係数, 内部抵抗は, 今回使用した発電機と同一シリーズの定格出力が最大 (2.6kW) の型式の値に設定した. 直径 2 m のフロートを用いた場合の発生電力を種々の波高と周期に対して図-3 に示す. 図より, このフロートの周期 6 秒以下では波高 2 m で 10kW を超える発生電力が見込まれる. また, このフロートでは発生電力は波の周期 3 秒のとき最大で, 4 秒, 5 秒 (2 秒), ... と小さくなっていく. したがって, 周期が大きいほど波高が大きくなるという荒天時の波浪の性質を考慮すると, 発電機の負担に関していえば, 荒天時の問題は或る程度緩和されると考えられる. また, 系の固有周期はフロート直径と共に大きい値を示した.

5. 結語

以上, 今回の実験において, 直径 2 (m) のフロートを用いて 1/5 最大波の波高 51 (cm) で 106 (W) の実効値を確認した. なお, モデル計算によるとフロート質量を増すとエネルギー利得は増大する. また, 利得電力を評価するための機械力学モデルを構築した. 本装置では, 駆動プーリに対する粘性減衰係数 C は, $C \approx 500 (\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s})$ であった. 最後に, エネルギー利得率は機械力学モデルにより与えられる $\bar{P}_G$ と, 波のエネルギー・フラックスから与えられる P_f の値の小さい方となり, 波高の 2 乗比例する.

6. 今後の予定

この機械力学モデルによって導出した結果と実験結果はほぼ一致し, 本研究で構築したシミュレーションモデルは妥当であったことが確認された. したがって, 今後はこの機械力学モデルによってフロートの比重などを種々変化させ, 想定されるエネルギー利得を評価し, 更に検討していく必要がある. また発生電力の高出力化についても検討していく予定である¹⁾.

参考文献 1) 羽田野袈裟義, 樋田操: 釣瓶式波力発電システム, 海洋開発ニュース Vol.29, No.4 2001 年 7 月号

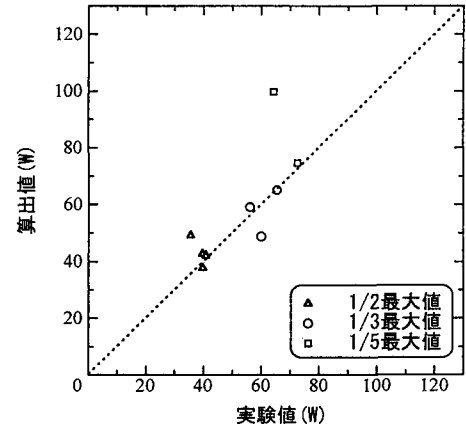


図-2 発生電力の算出値と実験値

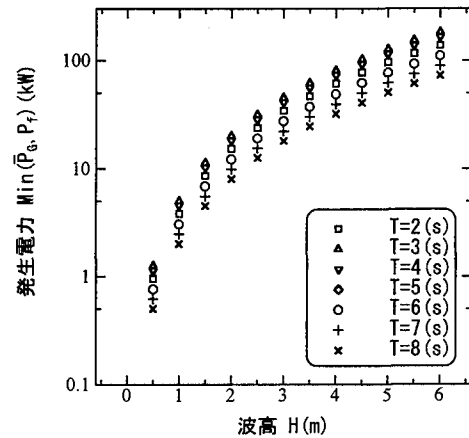


図-3 想定される発生電力