

波力エネルギー変換装置の実験

山口大学大学院 学生会員 ○渡邊誠・椎木健介・Pallav Koirala

山口大学工学部 正会員 羽田野袈裟義

三菱重工業（株）松浦正己

1. はじめに

著者らは、ブーリ・ワイヤ・フロート・カウンタウェイト・ラチェット機構により水面波から一定の向きに回転する軸の動力を取り出す波力エネルギー変換装置（図1参照）を開発中である。この方式は防波堤前面や大型浮体外周部に設けた遊水室で使用する事により、技術的・コスト的に実施可能との評価を得ている。

今回、水面下降時にのみエネルギー変換を行なう構成の波力エネルギー変換装置を遊水室内ではなく波が直接あたる状態で稼動する形で行なった実験で、ワイヤ張力とワイヤの走行速度から仕事率を求め、機械系の粘性減衰係数を同定した。また直流発電機を用い、フロートやカウンタウェイトなどのシステム諸元を変化させた時の平均発生電力を種々の波浪条件のもとで評価した。

2. 実験の概要

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）で行った。エネルギー変換装置の諸元を表1に示す。造波機の能力の制約から、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。フロートは直径2mの円筒形状のものを用いたが、周期3秒以下では来襲する波によりフロートが著しいローリングを起こし、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なわれた波浪条件を表2に示す。

3. 粘性減衰係数Cの同定

機械力学モデルにおいて粘性減衰係数Cの値を種々変化させてC値を同定した。図2はC=1200, 1580, 2000(N·m·s)としたときの結果をエネルギー変換率を計算した結果を実験値と比較した結果を示す。図より、Cは1580(N·m·s)程度であることがわかる。さらにCの範囲を狭め、C=1570, 1580, 1590(N·m·s)の3つを比較した。その結果を表3に示す。これをmとに、C=1580(N·m·s)と同定した。

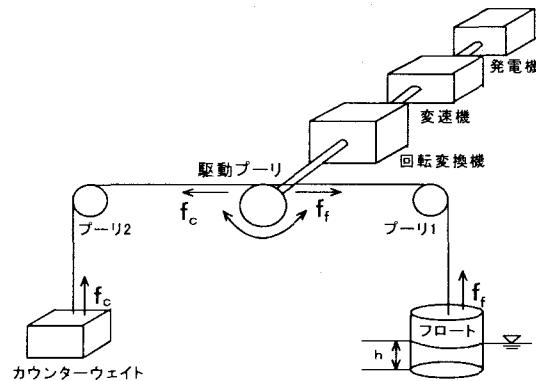


図1 つるべ式構成の概略図

表1 実験時の装置諸元

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
駆動ブーリ	半径 R_m (m)	0.18
ギア	ギア比 G	41.36

表2 波浪条件とフロートが行う仕事率(実験結果)

実験番号	波高 H(m)	周期 T(秒)	平均仕事率
			$(\int F \cdot Z \, dt) / T$ (W)
1	0.27	4.0	80.5
2	0.24	3.5	59.4

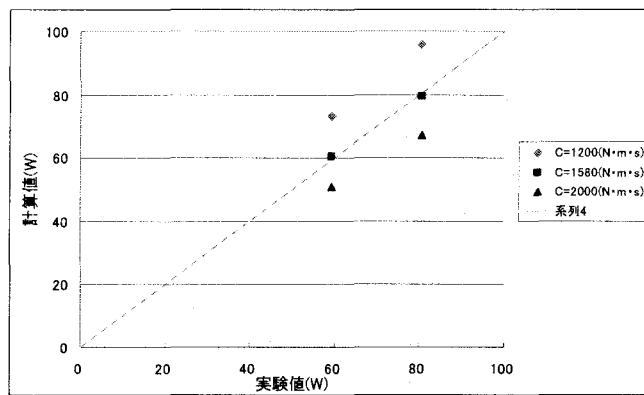


図2 フロートが行う仕事率の計算値と実験値

4. 仕事率の時系列の比較

実験番号 1 の波浪条件および実験番号 2 の波浪条件に対する仕事率の実験値と計算値の時系列を図 3 および図 4 に示す。これらの図より、仕事率の計算値と実験値の時系列が良好に一致していることがわかる。このシステムでは、エネルギー利得は（波高）²/周期にほぼ比例するが、両図の仕事率の最大値の大小関係はこのことを支持していると考えてよい。

5. 発電力の評価

5-1. 発電機の諸元

発電機は、誘導発電係数 $k_e = 0.135 (\text{V}/(\text{rpm}))$ 、トルク係数 $k_t = 1.2838 (\text{Nm}/\text{A})$ 、内部抵抗 $r = 0.26 (\Omega)$ のものを仮定する。

5-2. 平均発生電力の評価

装置の動力変換系の諸元の仮定値を表 4 に示す。これに対して種々の周期と波高の組で発生する発生電力の平均値 (kW) を見積もった結果を表 5 に示す。表中の空欄セルはフロートが水面から宙吊り状態になる事を示す。その状態では、ワイヤ張力等に急激な変動があり装置の安全な稼動を考えた場合、好ましくない。また、このとき仕事率や発生電力は小さい。

表 5 より、同一の波高で周期が異なる場合の平均発生電力を比較すると、周期 4 秒の場合には、3 秒や 5 秒の場合に比べて高い値となっている。これは周期 4 秒がシステムの固有周期であることを示す。そして、波の周期が固有周期 4 秒から離れるにつれて発生電力が低くなっている。また、水槽実験で使用した装置と計算で仮定した装置の結果を比べると、計算で仮定した装置の方が大きな電力を発生し、高い波高までフロートが宙吊りを起こすことなく正常に稼動する。

6. 結語

以上、フロート・カウンタウェイトを用いた波力エネルギー変換装置のエネルギー変換に関する水槽実験の結果を述べ、機械力学モデルの再現を試みた。その結果、フロートのローリングが生じない状態では良好な一致をみた。また、同一直径で重量の異なるフロートを用いた場合の計算を行ない、フロート重量の重要性を示した。今後は、遊水室内での稼動の実験を行ない、広い周期の範囲でフロートがローリングしない状態でエネルギー変換を測定し、検証する予定である。

表 3 粘性減衰係数 C の同定

C=1570	波浪条件	ε (計算値 - 実験値)	ε^2	$\sum \varepsilon^2$
		1	-0.659011291	0.4343
		2	1.379371293	1.90267
C=1580	波浪条件	ε (計算値 - 実験値)	ε^2	$\sum \varepsilon^2$
		1	-1.012559705	1.02528
C=1590	波浪条件	ε (計算値 - 実験値)	ε^2	$\sum \varepsilon^2$
		1	-1.36417265	1.86097
		2	0.826901818	0.68377

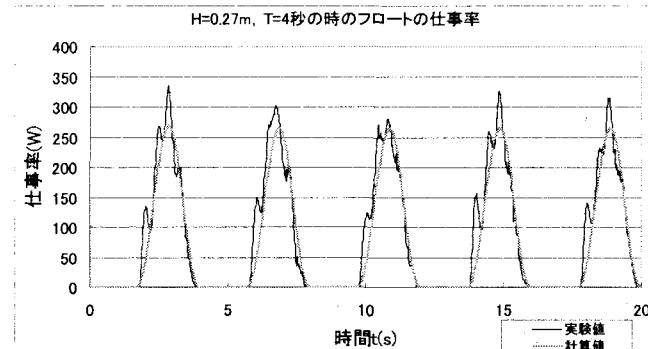


図 3 実験番号 1 の波浪条件での仕事率の時系列

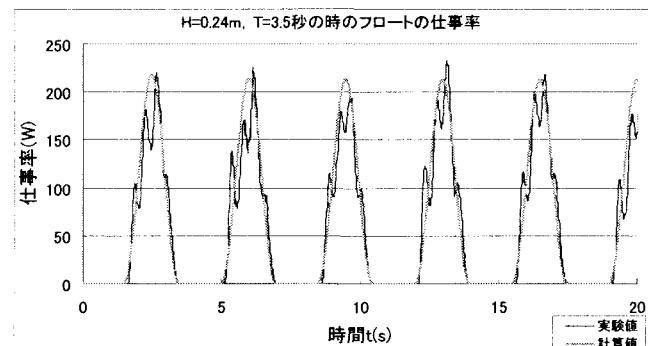


図 4 実験番号 2 の波浪条件での仕事率の時系列

表 4 装置諸元（動力変換系）

フロート	比重 ρ (kg/m^3)	900
	高さ H_f (m)	3
	直径 D_f (m)	2
	喫水率	0.6
	質量 M_f (kg)	8482
カウンターウェイト	質量 M_c (kg)	2686
駆動ブーリ	半径 R_m (m)	0.4
ギア比	ギア比 G	30

表 5 種々の波浪条件での平均発生電力 (kW)

波高(m) \ 周期(s)	2	3	4	5	6	7	8
4							
3.5							13.035
3						12.650	9.576
2.5				16.140	12.608	8.784	6.650
2	5.992	10.105	12.369	10.330	8.069	5.622	4.256
1.5	3.370	5.684	6.957	5.810	4.539	3.162	2.394
1	1.498	2.526	3.092	2.582	2.017	1.406	1.064
0.5	0.374	0.632	0.773	0.646	0.504	0.351	0.266
0.25	0.094	0.158	0.193	0.161	0.126	0.088	0.067