

小型波浪発電装置の開発

—— 第2報 浮きが波から受ける浮力, 抗力係数, 付加質量係数の検討 ——

岩 永 正 裕*・山 岸 陽 一*

A Development of Portable Wave Power Converter
(2nd Report, Examination of Buoyancy, Drag Coefficient
and Added Mass Coefficient Acting on Float)

Masahiro IWANAGA and Yōichi YAMAGISHI

Abstract

We are trying to develop a portable wave power converter used for seaside recreation. In the first paper, we reported the comparison between the results of model experiments and those of simulation about the conversion efficiency of wave energy. Experimental results agreed approximately with those of simulation, but there were some differences in details.

So it is necessary to examine the buoyancy, the drag and the added mass acting on the float to design the suitable system by computer simulation. The purpose of this paper is to examine those values by experiments and to make clear the factors for simulation.

As a result, the change of buoyancy acting on the float was less than the change of weight of water removed by the float with the wave. And the drag coefficient of float varied inversely as Froude-number. The added mass coefficient increased as the depth of float decreased.

1. は じ め に

比較的手軽に実用化でき海辺のレジャー等で使用できるつるべ式の波浪発電装置の開発を目的とし, 簡単なつるべ式の波浪発電装置を取り上げ, モデル実験による波浪エネルギーの回収効率とシミュレーションによる回収効率の比較を前報¹⁾でおこなった。両者は傾向がほぼ一致しているが細部に相違がみられ, シミュレーションの基礎となる波の上下によって浮きに加わる浮力や抗力係数, 付加質量係数についてさらに検討する必要がある。

そこで本報告では波浪水槽に浮力測定装置を製作して波の上下によって浮きに加わる浮力を調べ, 抗力・付加質量測定装置を製作して抗力係数と付加質量係数を求め, 今後シミュレーションをするときに必要とな

る因子を明らかにする。

記 号

- B : 浮きが実際に受ける浮力の変動と単純に波の上下で発生すると考えられる浮力の変動の比
- C_d : 抗力係数 (速度の2乗で整理)
- C_M : 付加質量係数
- C_V : 抗力係数 (速度の1乗で整理)
- D : 抗力
- d : 浮きの直径
- g : 重力加速度
- H : 浮きの底面の深さ
- M_{ad} : 付加質量
- p : 圧力
- S : 浮きの底面積
- T : 周期

1993年9月29日受理

* 機械工学科

U : 浮きの上下速度

λ : 波長

λ_2 : 浮きの振動で発生する波の波長

ρ : 水の密度

η : 波表面の変動水位

2. 実験装置および方法

つるべ式波浪発電装置の特性をシミュレーションするにあたり, 波の上下によって浮きに加わる浮力や, 浮きの抗力係数, 付加質量係数を知る必要がある。そこでこれらの基礎データを得るために次のような2つの実験装置を製作して実験を行った。

2.1 浮力に関する実験装置および方法

浮力測定装置は Fig. 1 に示すようにステンレス製円管の支持棒を水面に垂直に固定して支持棒下端面に荷重変換器(共和電業製 ロードセル 容量 20N)を固定した。浮きはポリエチレン製で直径 61 mm 高さ 100 mm, 直径 81 mm 高さ 115 mm, 直径 98 mm 高さ 150 mm の3種類の円筒を使用した。これらの浮きの

上部には鉄片(15×15 mm, 厚さ 1.45 mm)を設置して荷重変換器と常時接触させるように滑車を介して 364 g のおもりで荷重をかけた。浮きの水深 H は 0~60 mm の範囲に設定して, 波長を 350~640 mm と変化させながら浮きに加わる浮力を測定した。浮力の測定は荷重変換器からの信号を動ひずみ計, AD 変換ボードを介してパーソナルコンピュータに取り込むことにより行い, 浮きの横に設置した電気抵抗式水位計の電気信号とともに記録した。電気抵抗式水位計の位置は浮きと同一の波峰線上にあり, なるべく浮きから離れた点に設置し, 浮きを受ける浮力の値と波による水位の変化の関係を調べる。

2.2 浮きの付加質量係数, 抗力係数に関する実験装置および方法

Fig. 2, Table 1 に示すような直径 55~100 mm, 高さ 50~90 mm の5種類の亚克力製円筒を用意し, それぞれに厚さ 10 mm の亚克力製円形底を取り付け底中央部に真鍮製の円筒形おもりを 0~261.8 g の5種類変化させて載せ, 水面から浮き底までの水深が 20~72 mm でつり合うように設定した。浮きには3本の

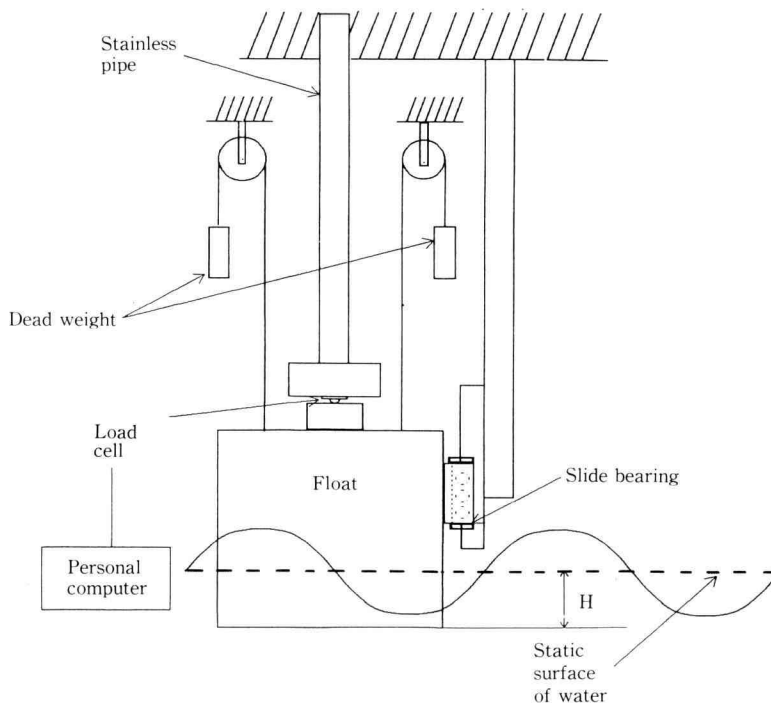


Fig. 1. Apparatus to measure buoyancy.

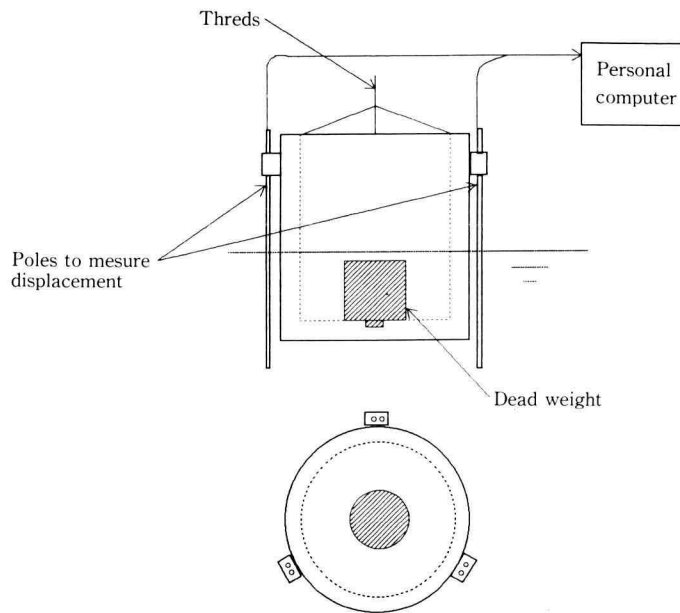


Fig. 2. Float for studing drag and added mass.

Table 1. Shapes of floats used to examine the drag and added mass.

Diameter mm	Height mm	Mass of float g	Mass of dead weight g	Distance between surface of water and bottom of a float mm
55	50	75.9	0	28.8
	70	80.4	18.6 42.4	42.0 50.0
	90	92.7	54.9 77.6	58.5 72.1
100	50	158.5	0 54.9	20.2 27.0
	90	210.2	109.4 186.5 261.8	39.0 50.0 58.1

電気抵抗式水位計が 120° おきに取り付けられており、配線には 0.1 mm の細いニクロム線を使用して浮きの運動を拘束しないように配慮した。

アクリル製の浮きの上部に取り付けた 3 本の糸で重心を取り (浮き底が水面と水平になるように設定した), 始めのつり台位置から糸を静かに引き上げて浮き

を 20 mm 上げた位置で静止させて水面が静止した後、糸を炎の熱で切断して上下振動させた。この浮きの振動は 3 本の電気抵抗式水位計により検出され、パーソナルコンピュータに AD 変換器を介して取り込まれる。3 個の変位信号を比較してこれらが一致するかどうかを吟味した上で解析を行い、この浮きの振動を最

もよくシミュレートすることができる付加質量係数と抗力係数を求めた。

3. 実験結果

3.1 浮力の実験結果

Fig. 3 に浮きを受ける浮力の時間変動と波水位の変動を示す。これらの変動は位相と波形がほぼ一致することがわかる。そこで波の上下により浮きが排除する水の重量の変化がそのまま浮きを受ける浮力の変化となるかどうかを次の比を求めることにより調べた。

$$\frac{\text{浮きを受ける浮力の時間変動の振幅}}{\text{密度} \times \text{波の振幅} \times \text{浮きの断面積} \times \text{重力加速度}}$$

この比 B は無次元量であり、これを縦軸に、浮きの底面の静水時の深さと波長の比を横軸にとって整理した

ものが Fig. 4 である。波表面の変動水位 η が伝播するとき水深 H における圧力変動は水深が波長 λ に比べて大きい場合には

$$p = \rho g \eta \cdot \exp(-2\pi H/\lambda)$$

で与えられる²⁾。すなわち水深が深くなると水面の水位は変動しても圧力はほとんど変化しなくなる。もし上記の圧力が浮きの底面 s に加わると考えると浮きを受ける浮力の時間変化は $\rho g \eta \cdot \exp(-2\pi H/\lambda) S$ で与えられる。一方波の上下により浮きが排除する水の重量の時間変化は $\rho g \eta S$ である。そこでこのとき上記の比 B は $\exp(-2\pi H/\lambda)$ のように変化すると考えられ、この値を実線で、その 8 割の値を点線で示してある。実験値は浮きの直径、波長によらず上記の実線の値の約 8 割であることがわかった。

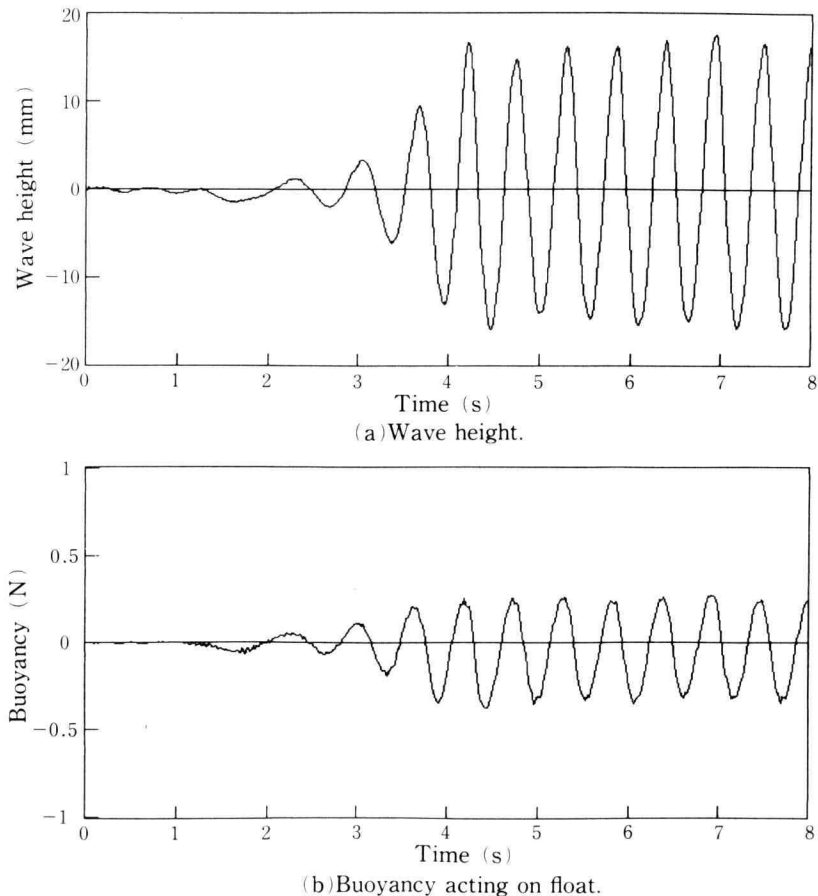


Fig. 3. Measured values of wave height and buoyancy.

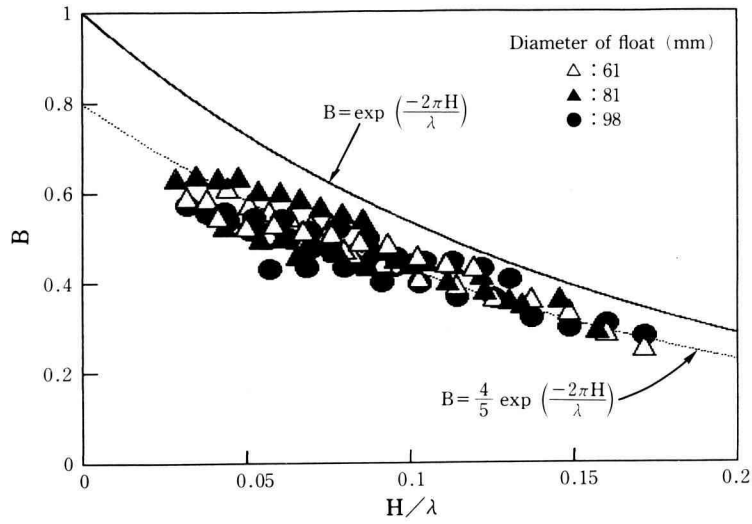


Fig. 4. Relation between buoyancy ratio and depth of float.

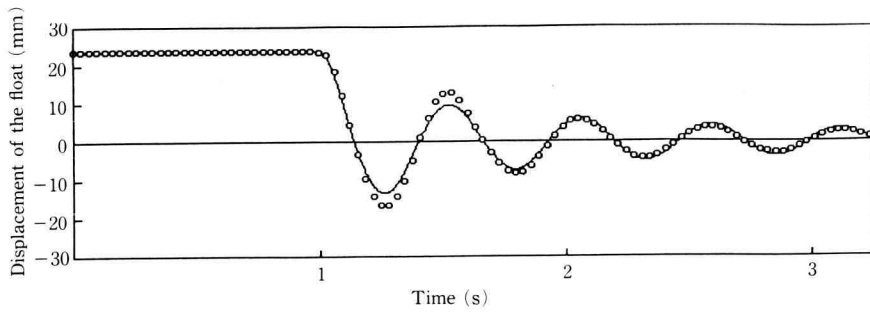


Fig. 5. Comparison between float displacements by experiment and those by simulation where the drag is taken to be proportional to the square of velocity.

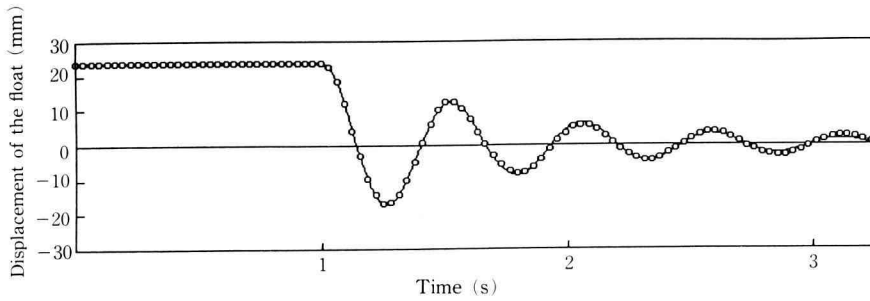


Fig. 6. Comparison between float displacements by experiment and those by simulation where the drag is taken to be proportional to the velocity.

3.2 抗力係数, 付加質量係数の実験結果

Fig. 5は直径100 mmを水深40 mmに設定したときの浮きの振動の時間変化を表し, ○は実験値, 実線は抗力係数 C_d を3.2, 付加質量係数 C_M を0.70としたシミュレーション結果である。ここで

$$\text{抗力 } D = C_d S \rho U^2 / 2 \quad (1)$$

$$\text{付加質量 } M_{ad} = C_M \times \text{浮きの質量} \quad (2)$$

である。シミュレーションは C_d , C_M を変化させながら実験値と最もよく一致する値を探したにもかかわらず計算値と実験値はあまりよく一致していない。

Fig. 6は上記と同じ実験結果を抗力の表記を速度の1次式として

$$\text{抗力 } D = C_v S \rho U \sqrt{gd} \quad (3)$$

に変更してシミュレーションを行ったものであり, 実験値と計算値は比較的よく一致している。

このとき C_v を0.17, 付加質量係数 C_M を0.69とした。これはフルード数を

$$Fr = U / \sqrt{gd} \text{ とするとき抗力係数 } C_d \text{ を}$$

$$C_d = 2C_v / Fr$$

のようにフルード数の逆数として与え, その係数を $2C_v$ と置くに等しい(註)。ここに g は重力加速度, d は浮きの直径である。式(2), (3)に従ってシミュレーションを行ない最も浮きの変動をよく表す C_v と C_M を求める。

Fig. 7は縦軸に係数 C_v をとり, 横軸に釣合状態の浮き底面の深さと浮きの振動で発生する波の波長 ($\lambda_z = gT^2/2\pi$) の比をとった。 C_v の値はほぼ一定で0.2となることがわかった。すなわち

$$C_d = 0.4 / Fr$$

となることがわかった。

Fig. 8は付加質量係数 C_M 実験の結果で, 縦軸に付加質量係数を, 横軸に釣合状態の浮き底面の深さと浮きの直径の比をとった。 C_M は浮きが始めに沈んだ深さが増加すると自然に減少することがわかった。

4. む す び

つるべ式の波浪発電装置のシミュレーションの精度

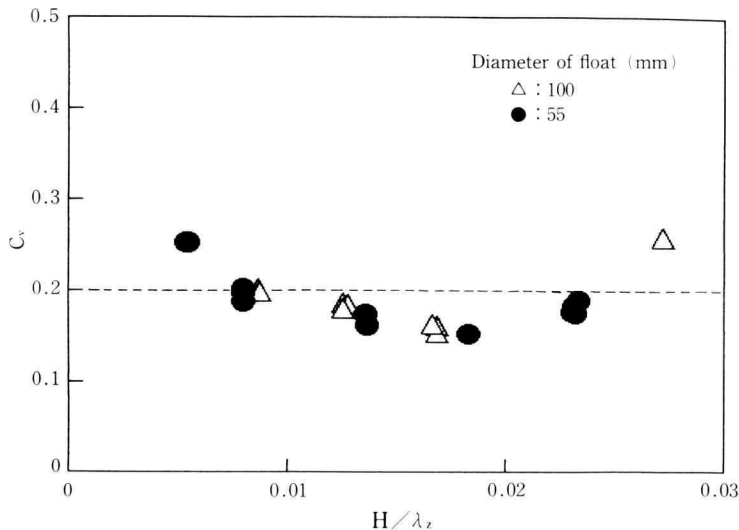


Fig. 7. Relation between drag coefficient and balancing depth of float.

(註) C_d をレイノルズ数の逆数に比例するとして整理しても速度の1乗に比例する抗力を表すことができる。

$$C_d = A / Re$$

これも試してみたが定数 A が浮きの直径によって変化する結果となつてうまく整理できなかった。

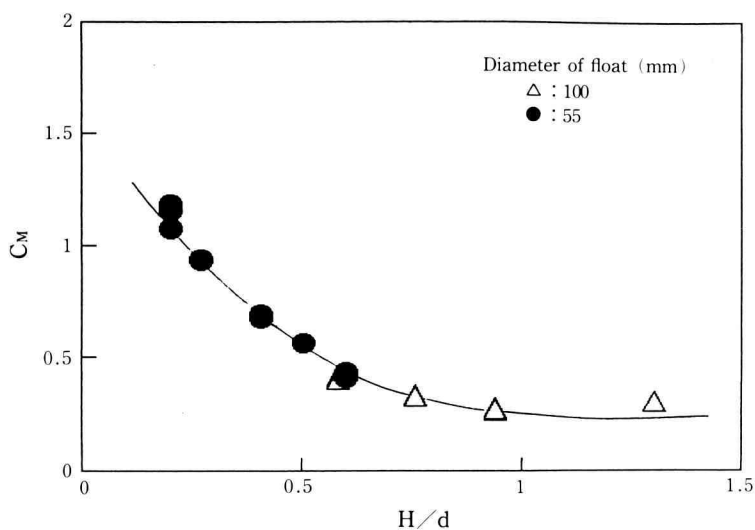


Fig. 8 Relation between added mass coefficient and balancing depth of float.

をあげるために波の上下によって浮きに加わる浮力や抗力係数，付加質量係数を実験して調べた。

その結果次のことがわかった。

1) 浮きが波の上下により受ける浮力の変動は，波によって浮きが排除する水の重量の変化よりも小さい値となる。

2) 抗力係数はフルード数に逆比例して変化することがわかった。

3) 付加質量係数は浮きの釣合状態の水深が浅くなるほど大きくなることがわかった。

5. 謝 辞

本研究は4年次卒業研究として行われたものであ

り，下記の諸君の協力を得たことを記して謝意を表する。

蒲山 智昭， 渋谷 高明
菱木 康輔， 比田井 匡， 平川 潤一

文 献

- 1) 岩永・山岸，小型波浪発電装置の開発，神奈川工科大学研究報告，No. 17，(1993)，7.
- 2) 石原・本間，応用水力学，中II，(1958)，496，丸善.