

波向きに追従する浮き構造体の動作機構

Moving mechanism of buoy system which follows to the wave direction

○野北 舜介* ・ 萩谷 崇**
Shunsuke Nogita, Takashi Hagiya

A buoy system which follows to the wave direction is proposed and the moving mechanism is analysed. The buoy system is composed of a T-shape skelton with a buoy at each horizontal end and a weight at the vertical end. By water channel experiments, it is concluded that, when the buoy system is relatively small compared with the wave length added, the horizontal bar of the system is arranged perpendicular to the wave direction.

KEYWORDS: buoy, wave direction, automatic movement

1. はじめに

沿岸施設の計画・設計や海上作業の計画において、波高と波向きの長期実測データは欠くことのできないものです。これら項目の測定には相応の設備と費用が投入されています。本発表では、波向きの測定に関して簡易で精度の高い方式、すなはち、波向きに自動的に追従する浮き構造体を提案し、その動作機構を明らかにします。

2. 従来の技術

これまでに知られている波向観測法は、つぎのように大別することができます。(1) 海面の視認による方法・・・目視または海象観測用レーダーなどによる。(2) 固定点における計器観測・・・定置式波向計、ブイ式波向計、波高計群方式による。(3) リモートセンシング法・・・人口衛星や航空機からの画像情報の解析による。

このうち、本考案は(2) 固定点における計器観測に係わるもの、および移動点における計器観測に係わるもので、ブイ式波向計の新しい構成要素を提供するものであります。

従来のブイ式波向計の原理は、水面の傾斜の方向とその大きさを測定し波向きを算出するものであります。水面の傾斜は浮遊式ブイの傾きの直交2成分から計算が可能であり、ブイ式波向計は1960年頃から使用されていて、ピッチロールブイと呼ばれています。さらに、水面の傾斜だけでなく水面の曲率までも測定して観測精度を高めたクローバーブイと呼ばれるものも使われています。

ブイ式波向計における一つの技術的問題は、傾斜角を計る計器の大半が振子の原理を利用しているため、水平加速度を受けたときには見かけ上、傾斜が生じたのと同じ効果を記録してしまうことであります。波による水平運動では、水面の傾斜と水平加速度の効果がちょうど相互に打ち消すように働くため、通常の傾斜計をブイに搭載しただけでは波向を観測できないと言われています。海洋研究用のブイでは、比較的短時間における観測を目的とするためジャイロスコープを使用し、その回転軸(鉛直を保持)とブイとの傾き角を測定することによってブイの傾斜角を求めるようにしています。

一方、数カ月ないし1年以上の定常観測を目的とした波向計では、電力消費量や軸受部の耐久性の面でジャイロスコープの使用が困難であり、別な方式が工夫されています。その一つは、電磁回路と機械的減衰機構を組み合わせて固有周期を非常に長くした傾斜計を採用し、それを大型あるいは中型のブイに搭載する方式であります。もう一つの方式は、棒状の鉛直ブイの中央付近に係留支点をとり、ブイの下端に傾斜計を組み込んだものであります。ブイは係留点を中心に振子運動するので、ブイ下端の傾斜角と水平加速度とは傾斜計に対して同一方向の効果を及ぼし、これによって水面傾斜の方向を知ることができます。

要約すると、従来のブイ式波向計には、つぎのような短所がありました。

- (a) 機構的に精密な傾斜計を用い、かつ、ジャイロスコープ、あるいは、固有周期を長くするための電磁的・機械的減衰機構など複雑な機構を併用するため、計測系の価格が高くなる。
- (b) 精密で複雑な計測系であるため、故障の頻度が高く、維持管理費用が高い。

3. 波向きに追従する浮き構造体（波向きブイ）の基本構造

図1に示すように、一本の支持棒の中心Oに他の一本の支持棒の一端を前者に垂直に固定した、いわゆる、T形支持具の両端に浮きAとBを設け、垂直支持棒の下端に錘Cを設けた構造体であって、これを水中に置いたとき浮きの一部分が氷面上に出るように浮力を調節したものを基本構造とします。

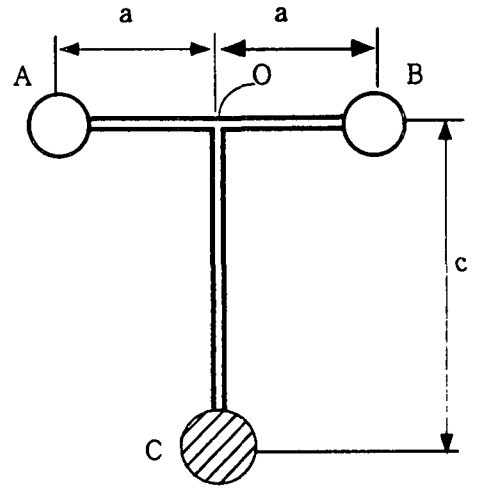


Fig. 1 Configuration

4. 波向きブイによる波向き測定の方法

上に説明した、波向きに追従する浮き構造体を、波向きブイと略称します。波向きブイに方位角検知回路と通信回路を搭載することにより、ブイから離れた場所で波向きを知ることが可能となります。

すでに、方位角検知回路として、平板上に配置した3個の地磁気検知コイルにより地磁気の方向（北または南）に対する平板の方位角を検知する回路が知られています。この方位角検知回路を、水平維持機構を介して、波向きブイに取り付けることにより、ブイの地磁気方向に対する方位角、すなわち、波の地磁気方向に対する方位角を求めることができます。

5. 波向きブイの動作原理

波向きブイは、それが傾いた水面、すなわち、波の面上に置かれたとき、縦棒先端の錘の復元力によって2個の浮きが自動的に波面の等高線上に配置される性質をもっています。ここでは、図2と図3を用いて、波向きブイの動作原理を説明いたします。

図2に傾いた水面上にある波向きブイの状況を示します。この図では簡略化のために、二つの浮子および錘の記入を省略し、横棒と縦棒によってブイを表現しています。波面Wは水平面Hに対して角 α だけ傾いており、ブイの横棒は波面W上にあります。また、簡単のために、横棒と縦棒は水平面Hに対して直交する垂直面Vの上にあるものとします。この垂直面は傾いた波面上の等高線s-tの水平面Hへの投影線u-vに対して角 β の傾きをもつものとして描かれています。

このような位置関係にある波向きブイの横棒が水平面Hとなす角 γ は、つぎのようになります。

ブイの横棒が任意の等高線上にあるとき、すなわち、 β が0のとき、 γ は0となり、ブイの横棒が等高線と直交しているとき、すなわち、 β が $\pi/2$ のとき、 γ は α となり、一般に γ と α 、 β の関係は下記の数式(1)によって表わすことができます。

数式(1)・・・

$$\gamma = \alpha \beta / (\pi / 2) = 2 \alpha \beta / \pi$$

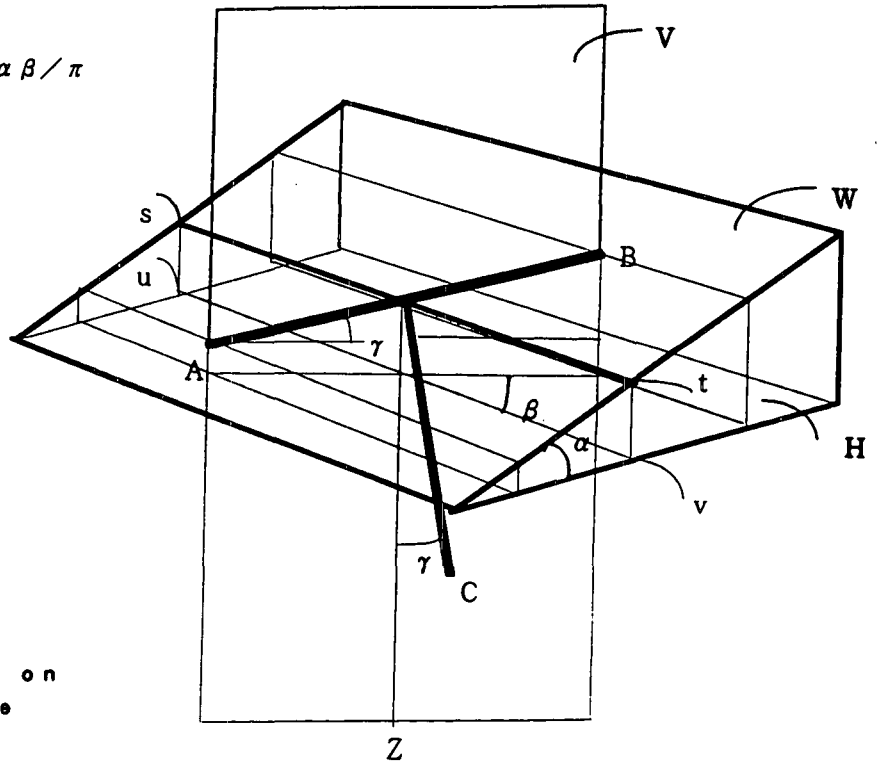


Fig. 2
Typical State on
wave surface

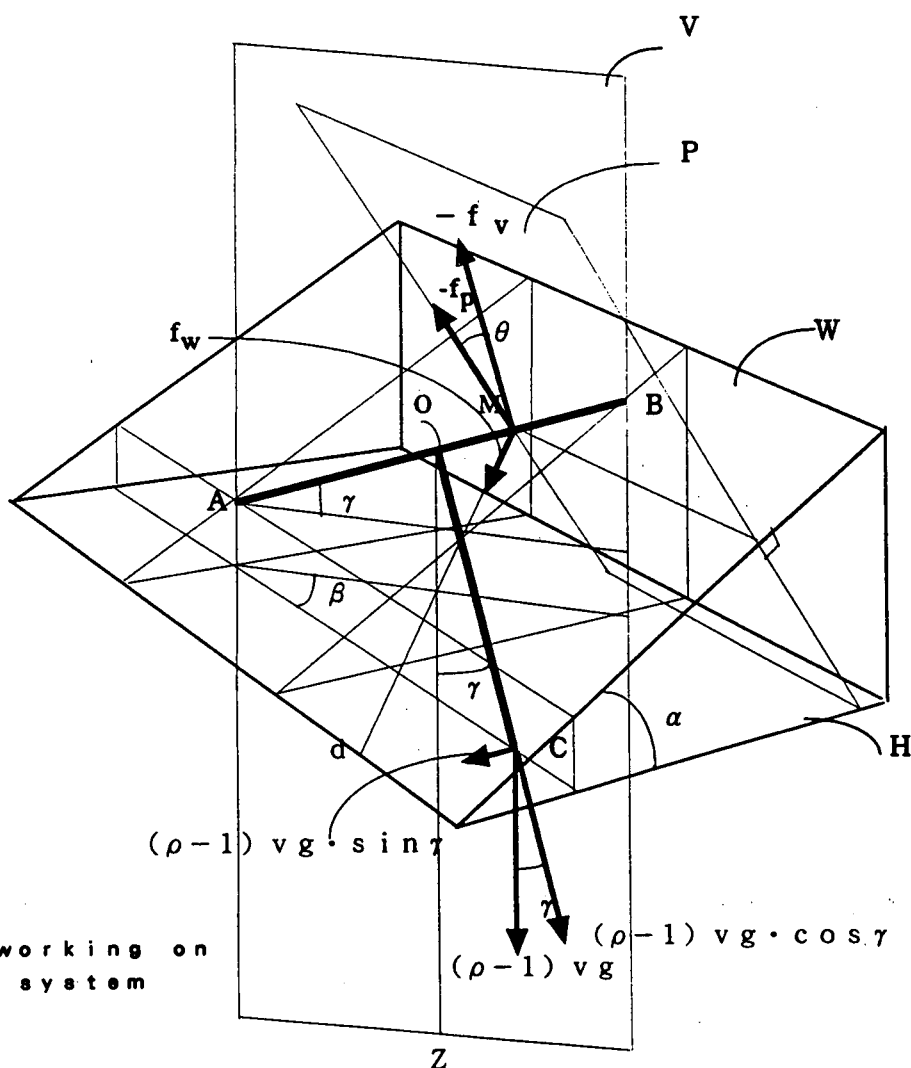


Fig. 3
Forces working on
buoy system

つぎに、図3について、錘Cの付近およびブイの中央点Oの付近の力の釣合を検討してみましょう。

比重 ρ で容積 v をもつ錘Cがあるとき、重力の加速度を g で表わせば、水中で見かけの重力 $(\rho-1)vg$ が垂直面Vにそって下方に働きます。この重力の縦棒方向の分力は $(\rho-1)vg \cdot \cos \gamma$ であります。一方、縦棒に直交する方向の錘の分力 $(\rho-1)vg \cdot \sin \gamma$ は垂直面V上を、Oを通る垂線OZに向かって働きます。図3の例では、この分力は垂直面V内でブイを時計方向に回転させるように作用し、高位置にある浮子Bを深く沈めます。したがって、浮子Bの浮力は浮子Aの浮力より大きくなり、そのため、浮子AとBの浮力の合力（合成浮力）の作用点は中央点Oよりも浮子Bに近いM点に定まります。浮力は水面Wに直交する方向に働くので、浮力の作用点Mを通り水面の等高線に沿った直交面Pを想定し図中表示してあります。合成浮力 $-f_p$ （重力に逆らう方向を $-$ と表示する）は直交面P上にあり、M点に作用します。

いま、M点に働く合成浮力 $-f_p$ を、垂直面Vに沿い縦棒に平行し上に向う分力 $-f_v$ と波面Wに沿う分力 f_w に分けて考えると、M点に働く縦棒方向上向きの分力 $-f_v$ は錘Cによる縦棒方向下向きの分力 $(\rho-1)vg \cdot \cos \gamma$ と一組となって浮子を垂直面内で反時計周りに回転させる作用をもちますが、一方、錘Cの縦棒に直交する方向への分力 $(\rho-1)vg \cdot \sin \gamma$ は浮子を時計周りに回転させる作用をもちます。結局、垂直面V内でこれらの分力は釣り合うことになります。したがって、M点には波面Wに沿うMd方向の分力 f_w だけが残ります。

波面に沿う回転力を取り出して考えると、図4のようになります。波面Wに沿う分力 f_w は、波向きブイに流体抵抗を起こさせます。ブイの流体抵抗力Rの作用点は縦棒軸上のO点に近く下方（図4ではs点）にあり、この流体抵抗力Rと波面Wに沿う分力 f_w による回転力がブイの横棒を波面の等高線の向きに動かす推進力となります。したがって、傾いた水面（波面）に置かれた波向きブイは等高線に対して平行な姿勢をとる方向に動きます。

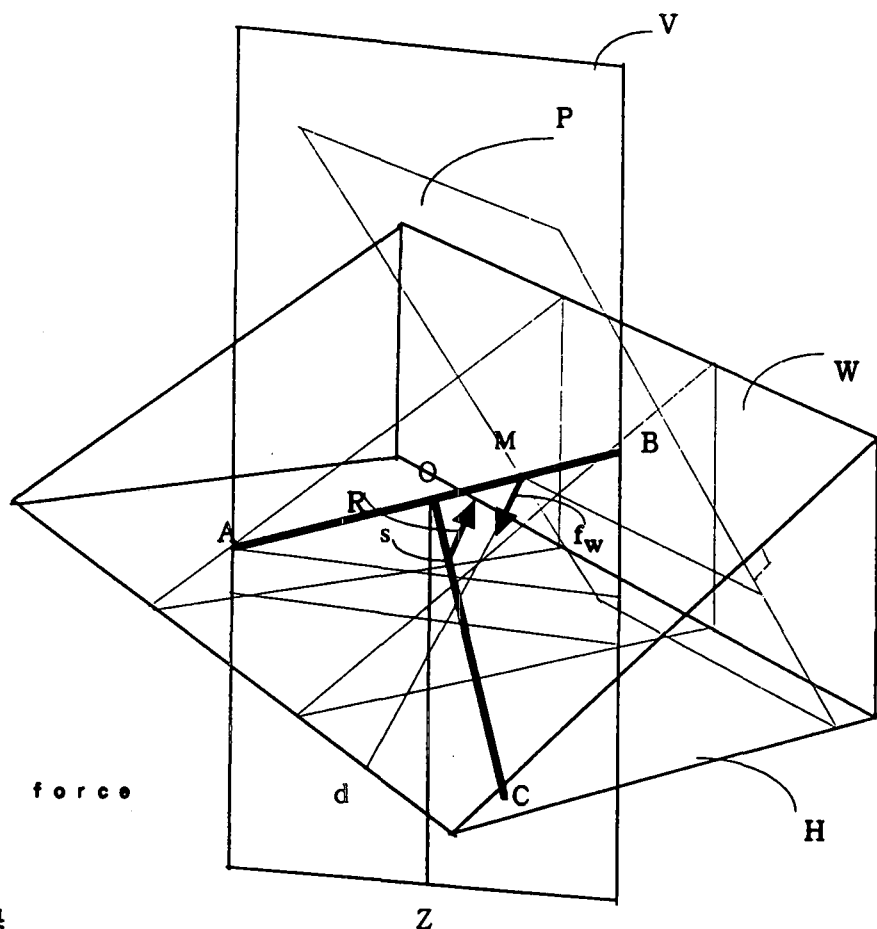


Fig. 4
Revolving force

6. 検証実験の結果

池やプールや海辺など、代表的な水域で試行錯誤の実験を繰り返した結果、つぎのことが推測されました。

(1) 加えられる波の波長に比べて、十分に小さい寸法をもつ波向きブイは、前節に述べた動作原理に従って、その水平棒を波の進行方向に対して直交する。(2) 水平棒の長さが、加えられる波長の数%以上であるとき、その波向きブイの水平棒は波の進行方向に対して直交しない。(3) この原因は、水平棒の左右の浮きが波の背にまたがるとき、前節に述べた力と異なる力を受けるからである。以上の推測を確かめるため、確認実験を行いました。

水路幅 60 cm、平均水深 35 cm、水路長さ約 12 m、水路の終端に消波器をもつ造波水槽で、0.05 Hz と 0.1 Hz の波を発生させ、2 種類の波向きブイについて、その挙動を観察した結果をつぎに整理します。

(1) 水平棒長さ 3 cm、垂直棒長さ 6 cm の小型ブイの場合

観測結果：ブイの初期方向に関係なく、1 波または 2 波の通過で水平棒が波の進行方向に対して直交しました。

(2) 水平棒長さ 12 cm、垂直棒長さ 12 cm の中型ブイの場合

観測結果：水平棒の初期角度が波の進行方向に対して 45 度以上傾いているときには、2 波ないし 3 波の通過後に、水平棒は波の進行方向に対して直交しました。しかし、水平棒の初期角度が 45 度以内であるときには、水平棒は波の進行方向に対して平行となりました。

なお、この実験で加えた波の波長と波高は、0.05 Hz 波のとき波長 4 m、波高 9 cm、0.1 Hz 波のとき波長 2 m、波高 9.5 cm でした。

7. まとめ

水槽試験の結果、本報告で提案した浮き構造体は、加えられる波の波長に対して十分に小さいとき（浮きの水平棒の長さが波長の 2% 以下のとき）、波向きに自動的に追従することが判りました。

おわりに、造波水槽の使用に便宜をお計りいただいた茨城大学工学部都市システム工学科・加藤 始 教授に申し上げます。

8. 参考文献

- (1) 合田良実編著：新体系土木 80 海岸・港湾調査法、土木学会、1986
- (2) 堀川清司著：新編 海岸工学、東京大学出版会、1991
- (3) 高本幹雄：パーソナル・ナビゲーション・システムの製作、トランジスタ技術、April 1992、pp296-309