

水平円筒型簡易波向計の実用化に向けての実海域実験

高井 隆三*、佐藤 宏*

Study on the Horizontal Type Buoy Monitoring of Wave Direction at the sea

By

Ryuzo Takai, Hiroshi Sato

Abstract

The buoy monitoring of the wave direction has been planned to measure the wave direction at YURA where an experiment using the floating off-shore platform "POSEIDON" had been carried out.

The horizontal type buoy developed by Edward¹⁾ has been adopted.

The characteristics of this buoy is a simple design of a cylindrical pipe shaped body at a low price and to be able to detect the wave coming direction with ease.

The buoy in the uni-directional waves has been driven parallel with the crest line of the waves and this nature has been utilized to detect the wave coming direction.

In this paper, both the results of the model experiment and at-sea experiment has been shown and also the applicability of this buoy to the at-sea operation has been discussed.

1. まえがき

今回報告する水平円筒型簡易波向計^{1),2),3),4)} (以後、波向計とする)はEdward¹⁾が開発した方式であり、浮遊した水平円筒は波浪中において波の峰に平行になると言う性質を利用して波向を計測する装置である。

本波向計は価格が他の波向計装置に比べて安価であり、設置方法や計測方法等が容易であるから簡便に波向が計測できる。また、波向計の計測精度は主方向(波の方向スペクトルでみて波エネルギーが最も集中している方向⁵⁾)の波向に対して、約±11.3度(全方位の16等分)の実用的な精度で波向が計測できる。

本文では、この波向計の基本的な性質を調べるために、縮尺模型を用いた一方向波中での水槽実験と実海域実験用波向計を用いた二方向波中での水槽実験を行った。その結果を基に、昭和61年度から4年計画で実施した浮遊式海洋構造物POSEIDON号(以後、P号とする)による山形県鶴岡市由良沖の実験海域に設置し、実海域実験を実施した。この波向計で計測した波向は、同じ海域に船研が設置した超音波式波浪計と気象庁が設置した波浪観測用パイロボットで計測した波向および第一港湾建設局が酒田北港で計測している波向と比較し、その特性を調べた。同時に実用化の可能性についても検討を試みた。

* 海洋開発工学部

2. 波向計の基本原則

EdwardやAndrewの文献によると、

(1) 波は波の峰において進行方向の水粒子速度もち、また波の谷では後退方向の水粒子速度もつ円軌道運動をする。一方、水粒子速度はオービタル運動により水面で最大になる。

この進行波に対してある初期角度で波向計を置くと水粒子の進行速度の違いにより回頭モーメントが働く。

(2) 単一方向波のつらなりに対して、ある初期角度を持って波向計を置くと、波向計の先行している一部分が波の峰付近で不安定な状態で持ち上がる。そして波向計は静的に安定な形になろうとして波の峰を滑り下る傾向を示す。その理由として、波向計は波の峰の連なりに平行になるまでその中央部に係留力や回転が生じるためと考えられる。

この様にいくつかの要因が複合して生じた回頭モーメントにより、波向計は静的に一番安定する位置に落ち着くまで回頭および移動を繰り返す。この特性を利用したものである。

3. 水槽実験

3.1 一方向波中における模型実験

3.1.1 実験の概要

この実験では、波向計模型に対して方向性を有する単一の規則波または不規則波を作用させ、この波向計

が波の峰に平行になる（以後、波に追従するという）特性を調べた。また、その結果に基づき、P号の実験海域での波向を計測するために必要な波向計の要目等を推算した。

実験に用いた供試模型は、全長1.96m、直径0.045mの透明なアクリル樹脂製の中空円筒型の波向計である。なお、円筒の中央部は図-3.1.1の円内に示す様に方位を計測する磁気方位センサーとそれを載せるジンバル式の簡易水平台を格納するために径が太くなっている。

模型の概要を図-3.1.1に示す。また、模型は図-3.1.2に示す様に、水槽底に5kgのアンカーを置き、3mmφの合成繊維索を用いて中間ブイを係留した後、中間ブイから模型中央の撚り防止用のスィーベルまでを約1mの鎖（空中重量68g/m）で係留した。

実験方法は、波向計を所定の初期出会角度（ χ ）に設定した状態で水面より釣り上げて置き、入射波が定常状態になった後、静かに水面へ降す。この時点から波向計が入射波の波の峰に対して追従していく軌跡を波向計の上方に設置したビデオ装置および波向計に搭載した磁気方位センサーで計測した。

また、入射波はサーボ式波高計で計測した。実験方法の概要を図-3.1.2に、実験状態の一覧を表-3.1.1に示した。なお、実験は海洋構造物試験水槽において水深1.7mで実施した。

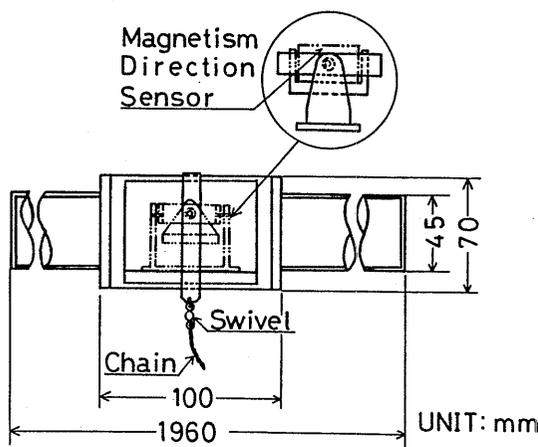


図-3.1.1 波向計模型の概要

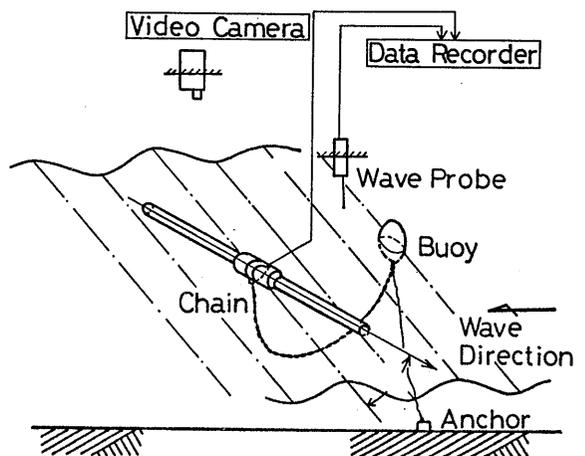


図-3.1.2 模型実験の概要図

表-3.1.1 実験状態

		規則波	不規則波	潮流	潮流+規則波	風+規則波
波期 と出 の会 初角	30°	○ (66)		○ (3)	○ (3)	○ (9)
	45°	○ (59)				
	60°	○ (44)	○ (4)	○ (3)	○ (3)	○ (6)
	75°	○ (40)				

- * 不規則波はISSC型のスペクトラムをもつ平均波周期が1.5秒と2.0秒、平均波高10cmと8cmの組合せで発生させた波である。
- * ()内の数字は、実験点数を示す。

3.1.2 実験結果

規則波中において波向計が波の峰に追従する特性を波長および波高を変化させて調べた結果を図-3.1.3に示す。なお、波向計の追従性の良否は波向計を水面に降ろした後、60秒以内に波の峰との角度が約±10度の範囲内に収束した場合を追従性が良であるとした。

この図から、この様な円筒型波向計が波に良く追従できる範囲は、波との初期出会角度には関係なく $L \times \sin \chi$ と波長の比（L：波向計の長さ、 χ ：波との初期出会角度）が大略0.3から1.5であると推定できる。

また、実験した範囲では上記の波長範囲内であれば波傾斜にも関係なく波に追従する。ただし、波との初期出会角度が30度で、短波長領域1.5付近を越えた場合において、追従が良い場合と悪い場合とが混在している。これは、この実験において短波長領域1.5付近を越えると波傾斜一定で波を発生させた場合、波高が数mmとなる。このために設定した波高にバラツキが生じたためと思われる。

図-3.1.4は、上記の結果に基づき波に追従した実験点についてその追従までの所要時間を調べた結果を示す。なお、結果は波との初期出会角度に関係なく、実験点のすべてを波傾斜別に分けて示す。また、図中の太い実線は波に追従するまでの所要時間が30秒間であることを示し、この時間内に追従する $L \times \sin \chi$ と波長の比の範囲（0.4～1.5）を適正波長範囲とした。

また、適正波長範囲内の波傾斜を調べると $L \times \sin \chi$ と波長の比で1.3付近より長波長側では、波傾斜が

1/100程度あれば十分範囲内に収まるがこの付近より短波長側では長波長側に比較してより高い波傾斜が必要となる。なお、適正波長範囲内においては波傾斜が大きくなると相対的に追従速度が向上する。

今回の実験では、一樣な風または流れを作用させた場合についても追従特性を調べた。風または流れが単独に作用した場合には、初期出会角度を保持した状態で前後または左右方向に平行移動するのが大半であったが、波と風または波と流れが同一方向で組合わさった場合は波が単独で波向計に作用した場合と同様な傾向を示す。

次に不規則波中における追従特性を調べた結果について示す。図-3.1.5の左図に実験で発生させたピーク周波数が異なる4種類の不規則波の波スペクトルを示す。なお、図中の太線は図-3.1.4で示した規則波中における適正波長範囲を示す。また、右図にはこれらの波スペクトルを持つ不規則波に対して波向計の初期出会角度を60度とした場合、波向計が波に追従する経時変化を示す。この図より、波のスペクトルに太線で示した適正波長範囲の波を多く含む(3)、(4)の場合、波向計は極めて良く波に追従する事を示している。

また、(1)、(2)の様に波のスペクトルに適正波長範囲を僅かにしか含まない場合でも、波向計は波に追従する迄に多少時間を要するが追従する事がわかる。

この結果から、一方向波中では不規則波中においても前述した規則波中の場合と同様の追従特性を有するものとして取り扱う事ができる。

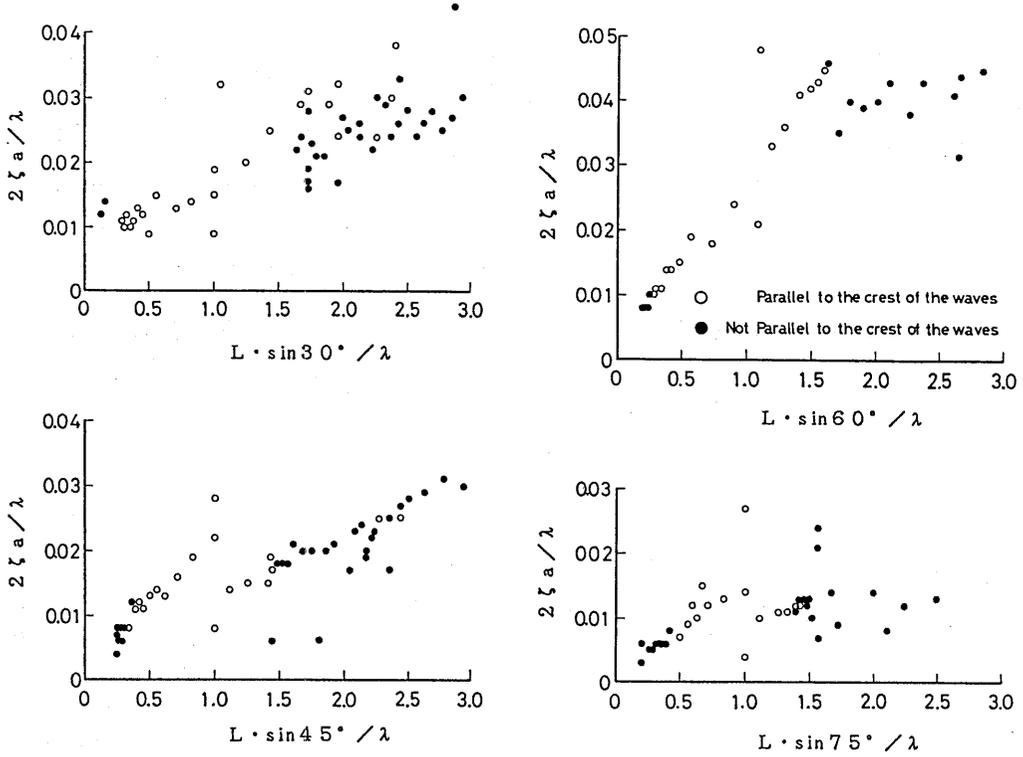


図-3.1.3 入射波の波高および波長が波向計の追従特性に及ぼす影響

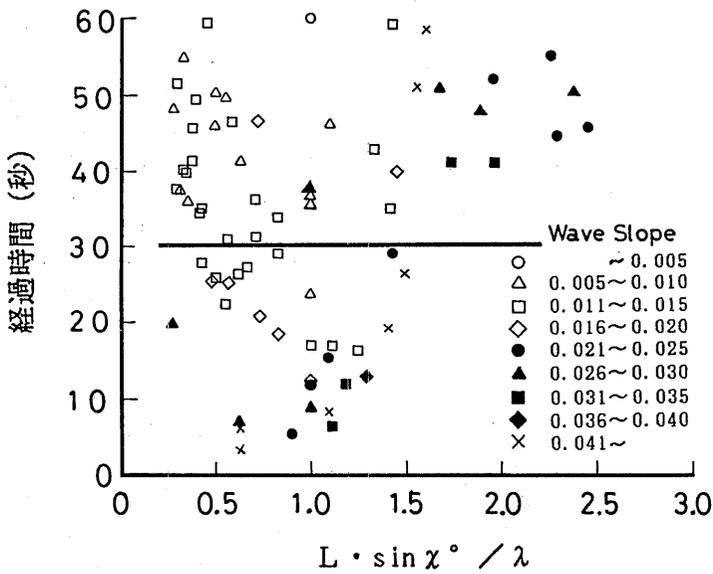


図-3.1.4 入射波の波高および波長が波向計の追従時間に及ぼす影響

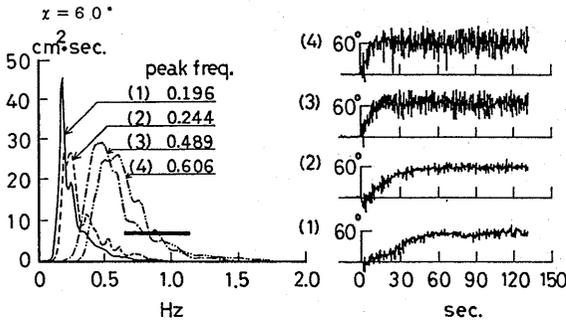


図-3.1.5 不規則波のピーク周波数の差異が波向計追従時間に及ぼす影響

3.2 二方向波中における水槽実験

3.2.1 実験の概要

円筒型の波向計が多方向波中において波に追従する特性を調べる目的で80m角水槽の二面造波機を用い、方向性を有する二種類の規則波を発生させ、二方向波中での水槽実験を行った。実験は、最初に実海域で使用した波向計(図-4.1参照)を平水中に浮遊させておく。次に、第一面造波機で約45秒間造波する。この間に波向計は波に追従してある位置に安定した状態を保つ。

次に、第一面造波機からの波に加えて第二面造波機を作動させて造波し、二方向からの波が同時に波向計に作用した状態を作りだした。この二方向からの波が同時に波向計に作用した時の追従の様子をビデオ装置で撮り、観察した。その実験方法および実験状態を図-3.2.1に示す。

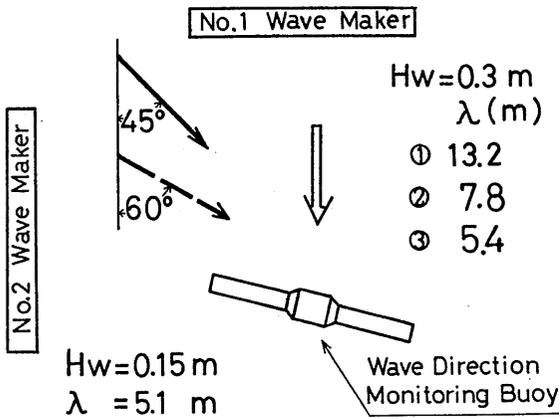


図-3.2.1 二方向波中における実海域用波向計の追従実験

なお、係留方式は係留ライン部の合成繊維索の長さを短くした他は二度目の実海域実験の場合と同じとした。

3.2.2 実験結果

実験の結果、次の事が言える。

- (1) 一方の波が図-3.1.4で示した適正波長範囲から外れ、他方の波が適正波長範囲内にある実験状態が① (Hw=0.3m, λ=13.2mとHw=0.15m, λ=5.1m) の組合せの場合、波向計は最初に発生させた波によりある位置に安定していても10数秒以内に後から発生させた波に追従し、追従後の姿勢はあまり変動しない。この波向計が波に追従していく様子をビデオ画像から求めた一例を写真-3.2.1に示す。
- (2) 両者の波がほぼ同程度の波長を有し、しかも適正波長範囲内にある実験状態が③ (Hw=0.3m, λ=5.4mとHw=0.15m, λ=5.1m) の組合せの場合、波向計は波高の高い波に追従し、追従後の姿勢はあまり変動しない。
- (3) 実験状態が② (Hw=0.3m, λ=7.8mとHw=0.15m, λ=5.1m) の組合せの場合の様に、波向計の長さ6mをはさんだ長短二種類の適正波長範囲内にある波長の波が作用した場合、波向計は姿勢が安定せずに二つの波の間を揺れ動く傾向を示した。

なお、発生させた波の入射角度60度および45度による追従特性への差異は見られなかった。

この実験の結果から、波向計は二方向規則波中においても前述の一方方向規則波中の実験で得た図-3.1.4に示す追従特性結果と同様な傾向を示した。

3.3 波向計に作用する回頭モーメント

3.3.1 実験の概要

上記の二種類の実験において、波向計が方向性を有する規則波に追従していく回頭運動の様子をビデオ画像を基に調査したが、この実験ではその回頭運動を生じさせている回頭モーメントの計測を試みた。

実験に用いた模型は長さ2.65m、直径0.115mで排水重量が12.8kgの塩化ビニール製の円筒である。実験は円筒の中央部を弛緩状態で係留し、図-3.3.1に示す様に弱いパネを介して波との初期出会角が約15度および約32度で水面上に浮かせた状態で設置した。この状態で規則波を作用させ、その時に生じた回頭モーメントを計測した。計測は二個のロードセルで計測した力を加算器で合計し求めた。この力が波向計に回頭モーメントを生じさせる力とした。なお、各運動は回頭モー

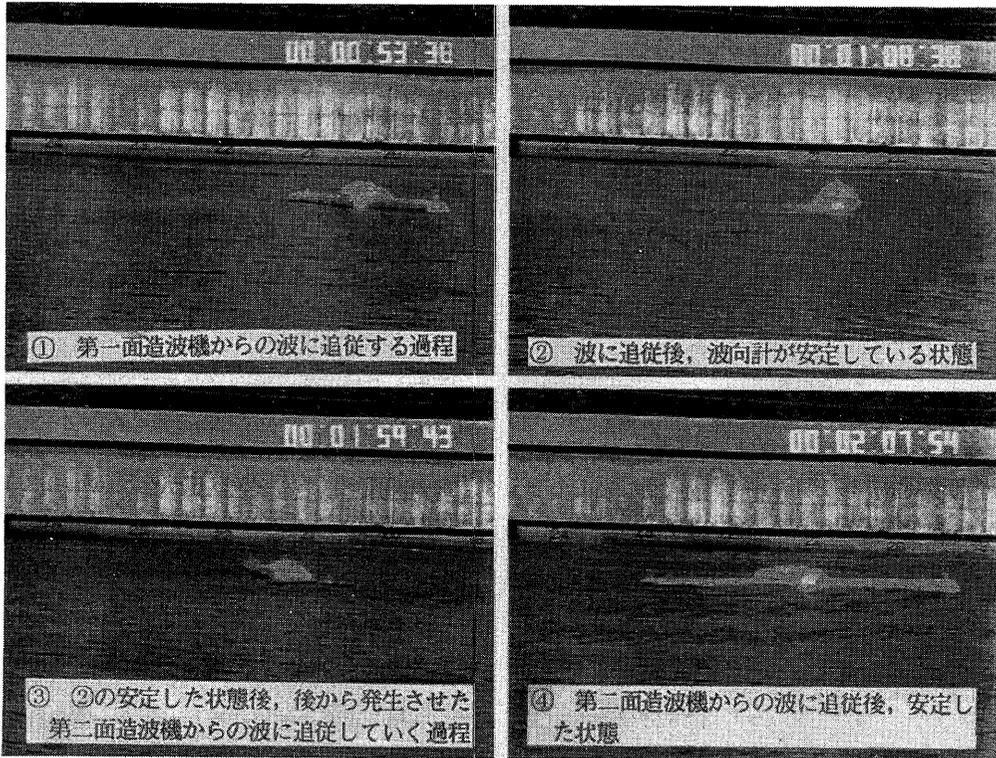


写真-3.2.1 二方向からの波が波向計に作用した場合、波向計が波に追従していく様子

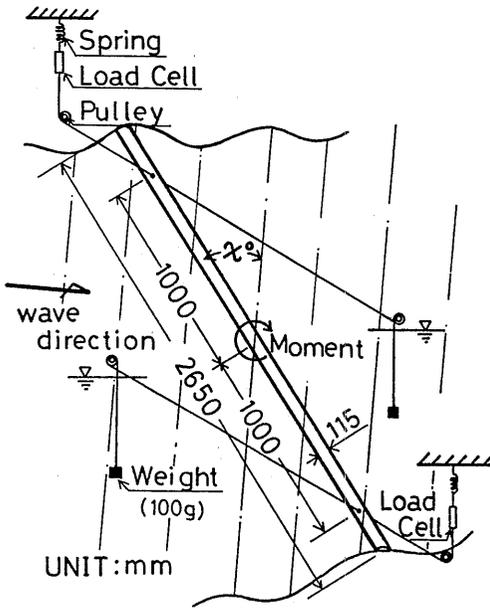


図-3.3.1 回頭モーメント計測模型実験の概要と計測方法

メントを生じさせる力を計測するために船首揺れを弱いバネで拘束しては各成分とも自由である。また、波向計に作用する漂流力はロードセルを波上側と波下側に置く事により相殺した。

3.3.2 実験結果

図-3.3.2に実験から求めた回頭モーメントを示す。なお、図中の細い実線および破線は計測点の平均線を、また太い実線は図-3.1.4で求めた適正波長範囲を示す。この図より、波向計に生じる回頭モーメントは $L \times \sin \chi$ と波長の比で0.4 ($0.33 \text{ kg} \cdot \text{m} / 2 \zeta a$) 付近から短波長側に行くにしたがい急激に増加し、0.73 ($3.35 \text{ kg} \cdot \text{m} / 2 \zeta a$) 付近でピークを持ち、その後は急激に減少する。

この回頭モーメントが大きく変化する波長の範囲は、前述の実験で示した波向計が30秒以内で波に追従する波長の範囲と良い一致を示す。

これらの一連の水槽実験の結果から、波向計の特性を十分に発揮するには使用する海域の波の特徴を調べ、波向計の長さを決定する必要がある。

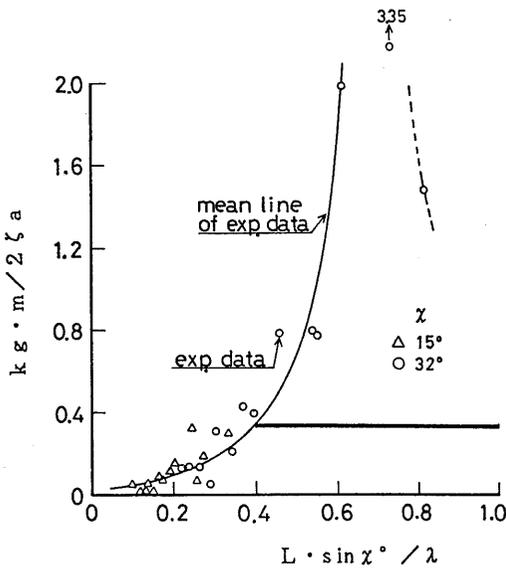


図-3.3.2 波向計に作用する回頭モーメント

3.4 実海域への適用

この波向計をP号の実験海域で使用する場合、その全長を6mおよび10mと仮定し、一連の水槽実験で得た結果を基に、その追従特性を推定した。

3.4.1 実験海域の気象・海象

実験海域の気象・海象⁹⁾には、次の様な特徴がある。平均風速が15m/sec.以上の強風時の風向は、夏季ではあまり方向性を持っていないが、春季は南西から西の方向、また秋季および冬季は北西から西北西の方向から吹く風が顕著である。

流れは、各季節を通じて北流（60度方向への流れ）が主流である。この流向は、由良付近の海岸線および等深線に沿って流れている。

波浪は、4年間の定時計測のデータから求めた有義波高と有義波周期の結合頻度分布の結果からみて、有義波高が1~3mの場合、有義波周期は大略4~8秒の間に分布している。また、冬季の波向は有義波高が2m以上の波高になると西北西~北西の方向に限られる。

3.4.2 設置海域での波向計の主要寸法

波向計の全長約2mで実施した模型実験時に発生させた図-3.1.5の(2)の波スペクトルを設置海域の波スペクトルに相当するように実機換算して表してみた。

この場合に設置海域で使用する波向計の全長は6m

および10mとした。即ち、縮尺率はそれぞれ3倍と5倍である。

その波スペクトルを図-3.4.1に示す。図中の太い実線で示した範囲が縮尺率3倍の場合の波スペクトルと波との初期出会角度が60度とした時の適正波長範囲である。同様に太い破線で示した範囲が縮尺率5倍の場合を示す。図中には、設置海域において'87年1月10日~11日の間の定時計測の中で、比較的波浪条件が厳しかった場合の波のスペクトルを重ね合わせて示す。

この図より、波向計の全長を10mにした場合は実験で発生させた波と設置海域の波のスペクトルのピーク周波数はほぼ一致する。しかしながら、太い破線で示した全長10mの場合の適正波長範囲は、僅かに設置海域の波のスペクトルに重なる程度である。この事は、たとえ全長10mの波向計であっても10秒程度の波長の主方向の波には追従する事は困難であると言える。単純に言い替えば、この例に示した波のスペクトルを有する主方向の波に完全に追従させるためには、図-3.1.4から判断して波向計の長さを80m程度にする必要であるが、この長さは波向計の強度、設置海域の制約や製作費用等の面からして今回の波向計の開発の目的から外れた長さとなる。

今回の実海域実験では波向計を設置した海域の制約、例えば漁船の航行の障害にならない事や同海域に設置された機器との衝突を回避する事等の理由により波向計の長さは全長6mで行はなければならなかった。

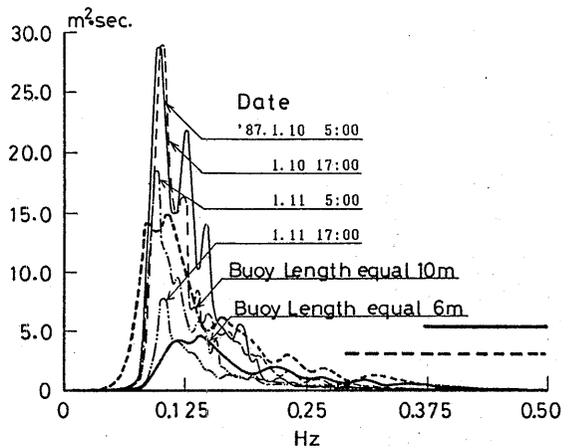


図-3.4.1 波向計の設置海域の波スペクトル例と実海域用波向計の適正追従範囲

4. 実海域実験

波向計の実海域実験は、P号の実験海域で昭和63年9月18日～10月10日と平成2年3月13日～3月22日の二回実施した。

4.1 実海域用波向計

波向計の概要は、図-4.1に示す様に全長6m（中央部の長さ1m、直径0.52m、両端部の長さ2.5m、直径0.27m）重量約210kgの塩化ビニール製である。

係留システムは、同図に示す様に0.5tonのコンクリート製アンカーおよび全長約72mの合成繊維索等（波向計の中央部からスィーベルを介して直径16mmで長さ5mのチェーン、その下方は長さ67mで直径18mm、長さ67mのナイロンロープ）で構成されている。

この波向計の全容を写真-4.1に示す。

波向計の向きを検出するための計測器は、磁気方位センサー（リング状の鉄芯にコイルを巻いて外部磁気

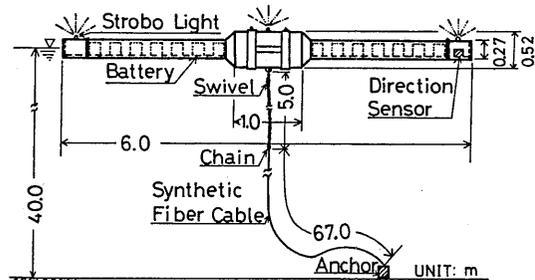


図-4.1 波向計と係留システムの概要

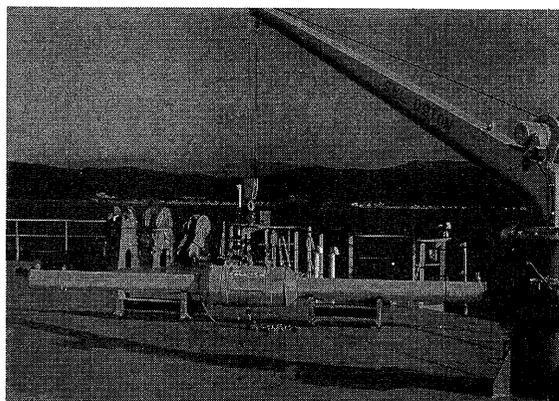


写真-4.1 実海域用波向計の全容

を検出するフラックスバルブ方式のセンサーであり、動揺や傾斜による誤差を防止するため、ユニバーサルジョイント形のジンバルで保持されている）およびアンプ、定電圧発生器およびデータ収録器で構成されている。また、電源部はこれらの計測器類および波向計の位置を示す3個の点滅ライト用として12Voltの蓄電池14個を用いた。ただし、水槽実験および二度目の実海域実験では、波向計の総重量を軽くするために蓄電池を4個にしてアンプ類および収録器と共に波向計の中央部に格納した。従って、一回目の実験では総重量が約395kg、二度目の実験では総重量が約295kgであった。

4.2 波向計の検証に用いた波浪計

P号の実海域実験のために設置した三台の超音波式の波浪計⁶⁾（以後、二次元波浪計とする）、気象庁が同海域に設置した波浪観測パイロポット（以後、プイ式波浪計とする）および酒田北港沖約8kmに第一港湾建設局酒田港工事事務所が設置したマフコタワー方式の波浪計⁷⁾（以後、酒田港波浪計とする）の概要について示す。

二次元波浪計方式は、海底に設置した三台の超音波式波浪計のアレイを用いて求めた波の方向スペクトルから波向を算出する方式である。プイ式波浪計方式は、プイに搭載した加速度計で求めた波スペクトルからピーク値の大きい順に3点選び、このピーク値における波周期で波向を算出し、全方位を16等分した方位で表す方式である。

酒田港波浪計方式は、鉛直円筒形浮体をユニバーサルジョイントを介して海底に設置し、この浮体に作用する波力により生ずる水平二方向の傾斜運動の傾斜角を計測して波向を算出する方式である。

4.3 波向計の設置位置と計測方法

波向計は、P号の波上側約120mに設置した。実験海域に設置後、波に追従している様子を写真-4.3に示す。

また、この設置場所の付近には、二次元波浪計およびプイ式波浪計が設置されており、波高、波周期および波向を計測している。この位置関係を図-4.3に示す。さらに、この位置から約30km離れた酒田北港においても波浪を観測している。

波向計での波向の計測方法は、搭載した磁気方位センサーからの連続したアナログ信号を10分に1点の間隔でデータをA/D変換して、収録器のメモリーに書き



写真-4.3 実海域に設置した波向計が波に追従している様子

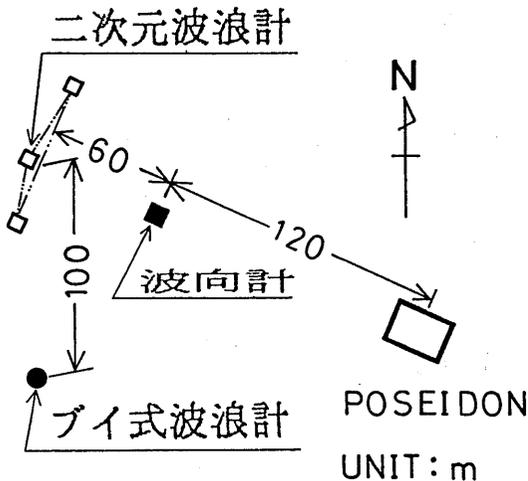


図-4.3 波向計の位置関係

込む方法を用いた。ただし、波向計は左右対象であるために解析では、計測した全ての波は180~360度の方向から来るものとした。

4.4 実験結果

図-4.4.1に三種類の波浪計で計測した波向の24時間の経時変化およびその時の気象・海象状態の経時変化の事例を示す。図中の上図には、有義波周期が5秒付近で、且つ有義波高が約2.5mの海象における波向計、二次元波浪計および酒田港での波向を比較した場合を示す。なお、波向計の経時変化で3~9時の間が大きく変化している。この原因は不明であるが、海象

に原因があるとするれば、潮流における潮目等の原因が考えられる。下図には、有義波周期が8秒付近で、且つ有義波高が約4mの海象における波向計および二次元波浪計を用いて計測した波向を比較した場合を示す。

図中の斜線部は、二次元波浪計で計測した波向が正しい波向を示すと仮定した場合の約 ± 11.3 度の実用許容範囲を示す。なお、二次元波浪計の計測精度および酒田港での波向との比較については、文献⁶⁾等で示されており、その結果によると二次元波浪計は比較的波周期(5秒程度以上)の長い波長の波向に対しては精度良く計測でき、酒田港で計測した波向とも良く一致している。

図-4.4.2は、波向計とブイ式波浪計および二次元波浪計で計測した波向とを比較したものである。なお、ブイ式波浪計は比較的波周期の短い範囲を精度よく計測できる。また、二次元波浪計は比較的波周期の長い範囲を精度良く計測できる。

図中の波向計の計測値とブイ式波浪計の計測値との比較では、平均波高が約1~3mの場合を選び、ブイ式波浪計で求めた波スペクトルのピーク値の波周期別に分けて示した。二次元波浪計の計測値との比較では有義波高が約1~5mの場合を採用し、有義波周期別に分けて示した。図の白丸および黒丸印が、波向計とブイ式波浪計または二次元波浪計で計測した波向が一致した場合(45度の直線上の点)に対して、どの程度の差異があるかを示している。また、細い実線で示す45度の直線上の斜線部は、約 ± 11.3 度の実用許容範囲を示す。

この場合、ブイ式波浪計 または二次元波浪計で計測した波向が各々の波周期において正しい波向を示しているものと仮定した。

波向計が各波周期の波に追従するか否かの評価は、計測値が45度の直線付近にどの程度分散しているかどうかで判断した。

この評価をこの図より調べると、波向計とブイ式波浪計または二次元波浪計との比較において、計測値にバラツキが大きく両者の間に明確な相関は見られない。

しかしながら、波周期別に評価すると、平均波高が1m以上あり波周期が4~5秒間の波に対して、比較的良く計測値は斜線部の範囲内に分散している。

この事は、図-4.4.1の上図に三種類の波浪計で計測した波向を比較した経時変化において、各波向は斜線で示した約 ± 11.3 度の範囲内にあり、比較的良い一致を示す事からも言える。

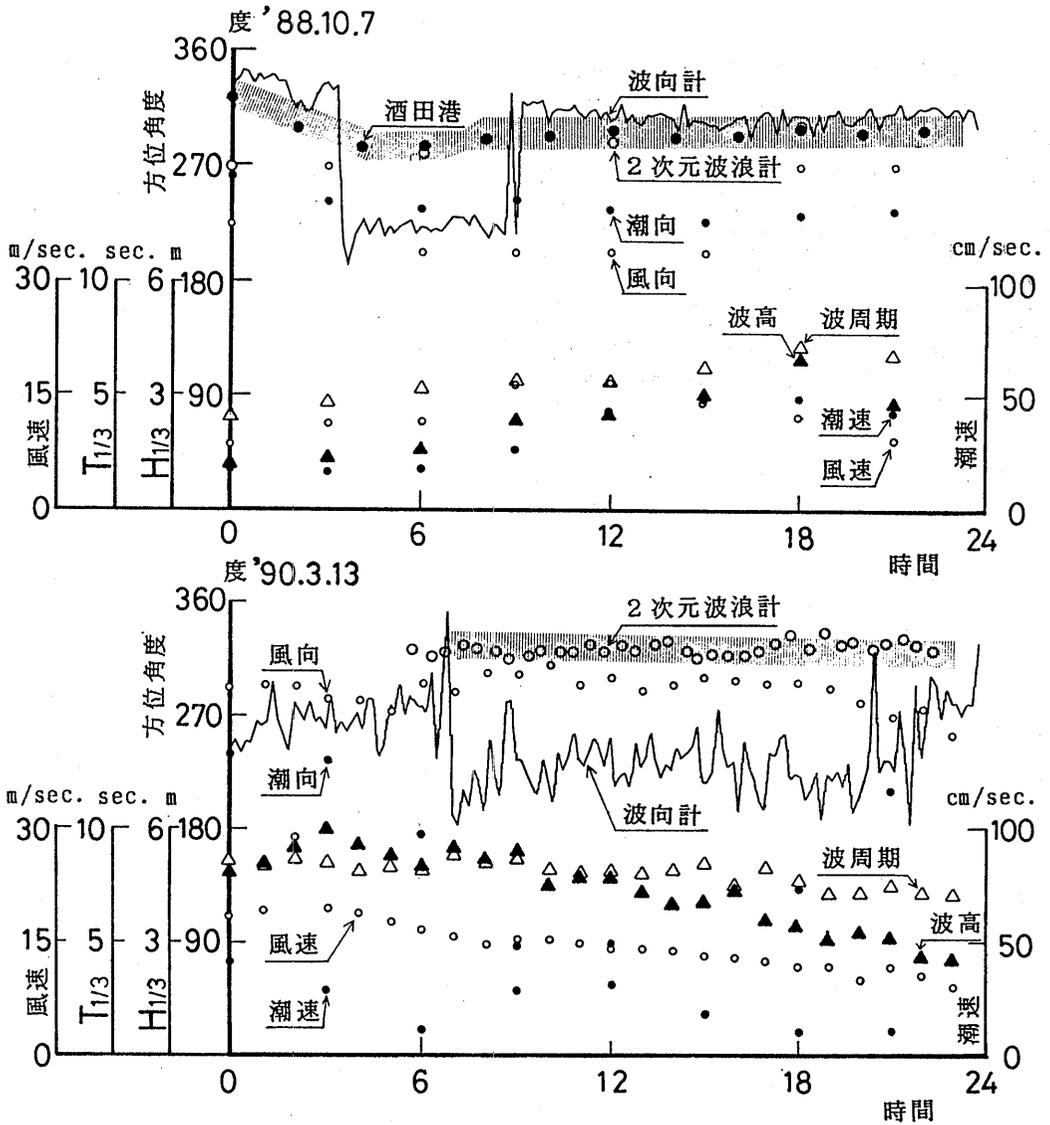


図-4.4.1 三種類の波浪計で計測した波向とその計測時の気象・海象の経時変化事例

一方、平均波高が1 m以上で波周期が2~3秒程度の波に対して、計測値は斜線部の範囲から外れる場合が多くみられる。ただし、波周期が2~3秒程度（波向計長と波長との比で約1~0.4）の短波長の波は、前述の水槽実験の結果（3章を参照）から見て、より波に追従し易い適正波長範囲に近づく波と考えられる。

このことから、長さが6 mあるこの波向計でもって波周期が2~3秒の波の波向を計測する事は十分可能であると推定できる。

次に、平均波高が1 m以上あり、有義波周期が6秒を越える波長の波に対して、波向計と二次元波浪計との比較において、計測値は45度の直線から大きく外れている場合が多い。そのために6秒を越える波の主方向の波向に追従する事は困難であると考えられる。この傾向を図-4.4.1の下図で見ると、有義波高が4 m程度であっても、有義波周期が8秒になると長さ6 mの波向計では、波には追従できなくなる事がわかる。

5. まとめ

今回実施した三度の水槽実験の結果および実海域実験の結果から、この水平円筒型波向計は次の様な追従特性を有している。

- ① 一方向から来る規則波または不規則波に対して、波向計は波の峰に平行になる特性がある。その特性には波向計の長さで波長との間に図-3.1.4で示した関係があり、その範囲を外れた場合は波に対する追従性が悪くなる。
- ② 二方向から来る規則波に対しても波向計は適正波長範囲に近い波長の波に追従する特性がある。ただし、両者の波が共に適正波長範囲内の波長の波である時は不安定な動きをする場合が見られる。
- ③ 一方向からの風または流れが単独に作用した時波向計は多くの場合、最初の姿勢の状態に係留ラインが突っ張る所まで流されるが姿勢に変化は見れなかった。しかし、同時に波が組合わさると波に追従する傾向がある。
- ④ 今回の様に波向計の長さが6 mあれば、波周期が5秒(波長で40m)程度までの波に対して、この波向計で波向を計測できる。このことから、波が十分に発達しない水面域で発生する波向を計測する装置としては十分使用できる。特に、一方向からの波向に対して有効である。
- ⑤ 水槽実験の結果から、この波向計の製作目的である主方向の波向の計測は図-3.1.4に示した適正波長範囲の波に対して、約±11.3度の实用精度の範囲で計測が可能である。しかし、実験海域の安全上等の関係から、波向計の全長を6 mにして実施した今回の実海域実験では、この海域における主方向の波向の計測に対して、十分満足できる結果を得る事はできなかった。
- ⑥ 本波向計の方位検出に使用した磁気方位センサーおよびメモリーに書き込む収録方式等の計測システムは、実海域実験中問題なく作動した。この計測システムを実海域実験用に使用する事は十分可能である。
- ⑦ 今回の実海域実験用の波向計に要した製作価格から判断して、実機の製作価格も現在使用されている波浪計に比較して十分安価にできるものと考えられる。

6. 謝 辞

この波向計の開発は、前海洋開発工学部部長故安藤定雄氏の発案と指導により実施された事をここに記しておきます。また、実験の解析に当りデータの提供をしてくださいました第一港湾建設局新潟調査設計事務所および気象庁海洋気象部海上気象課の方々、ならびに水槽実験や実海域実験において手伝ってくださった海洋開発工学部の方々および現地で波向計の設置等で協力して下さったの方々に対して、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Edward, C.B. : Horizontal Spar Wave Direction Monitoring Buoy, OTC, 3181, pp.1159~1164, 1978.5
- 2) Andrew, V.B. : Directional Wave-spectra Monitoring Horizontal-Spar Buoy, OCEANS '78, pp.629~633, 1978.9
- 3) 高井隆三 大川豊 三島木絹子他：実海用簡易波向計の開発(その1. 波向に対する追従性) 第50回船研講演会講演集, pp.106~109, 1987.12
- 4) 高井隆三 吉元博文 三島木絹子他：実海用簡易波向計の開発(その2. 実海域実験結果) 第56回船研講演会講演集, pp.85~88, 1990.11
- 5) 合田良実：共分散法を用いた波向推定方式の数値的検討 港湾技術研究所報告第20 第3号, pp.53~92, 1981.9
- 6) 吉元博文：実海域における波の方向スペクトルについて(第1報) 船研報告 第26巻, 第5号, pp.101~120, 1989.9
- 7) 岩谷文方 宮本卓次郎 宮井真一朗：酒田港における水中浮体式観測塔による波向観測について 第12回海洋開発シンポジウム, pp.59~64, 1988
- 8) 船舶技術研究所 海洋開発工学部：海洋構造物の沖合展開のための開発研究(浮遊式海洋構造物の開発研究) 総合研究成果報告 非公開資料, 1991.3