

大気海洋相互作用実時間計測システムの研究：運動性能の実験的研究

小寺山, 亘
九州大学応用力学研究所：教授

堀, 勉
九州大学応用力学研究所：助手

中村, 昌彦
九州大学応用力学研究所：助手

<https://doi.org/10.15017/4743952>

出版情報：應用力學研究所所報. 74, pp. 141-152, 1992-10. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



大気海洋相互作用実時間計測システムの研究 ——運動性能の実験的研究——

小寺山 宜* 堀 勉**
中 村 昌 彦***

概 要

大気海洋相互作用研究用海洋観測ブイの波浪中における運動性能を実験的に研究した。また、造波水槽と言う限られた空間内で係留ラインを含めたブイシステムの実験を行うためには、小型のブイ模型を使用せざるを得ない。このための実験計測法も同時に開発した。

Key words : Floating platform, Air-sea interaction, Model experiments.

1. はじめに

海洋は熱・運動量・物質の貯蔵庫として地球環境に重要な役割を果たしているが、大気のデータと比較して、海洋の動態に関するデータは著しく不足していると言える。従って、理論・数値計算・室内実験を中心とした研究や人工衛星によるリモートセンシングと同時に海洋の直接計測が極めて重要である。特に、大気との相互作用の場である海洋混合層の詳細かつ長期の計測は、海洋と大気の相互作用の研究の為には不可欠であると言える。空間的に高密度の情報を取得するためには、曳航体等を利用した移動型の計測法¹⁾が有利であるが、長期間のデータを蓄積するためには、定置型のブイシステム²⁾がしばしば使用される。

本研究では、海上大気及び海洋混合層の直接計測のための長期係留型ブイシステムの設計に関する目的で行った模型実験について述べる。特に、海洋観測用ブイシステムにおいては係留ラインに比較して、海面ブイの大きさが小さいために模型実験技術の面で困難な点があったが、本研究では小型模型を使用した場合の運動測定法も同時に開発し、興味ある結果が得られたので報告する。

*九州大学教授 応用力学研究所

**長崎総合科学大学助教授

***九州大学助教授 応用力学研究所

2. 波浪中の模型運動計測法

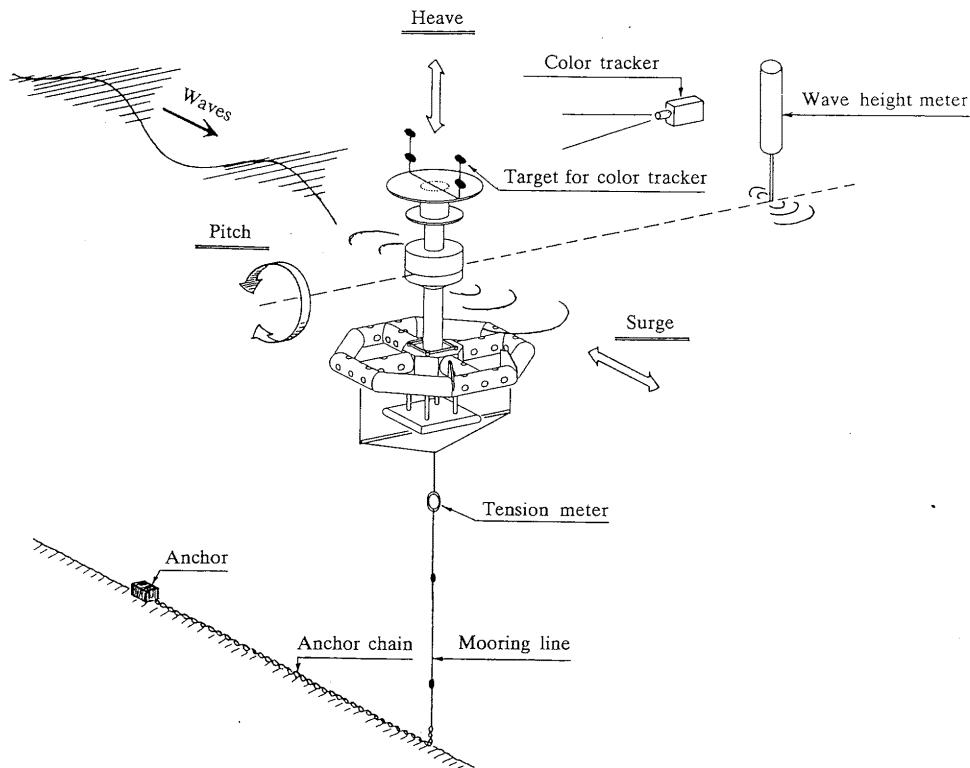


図1 供試模型と実験状態

従来、浮体模型の運動計測にはボテンショメーターを用いた機械式の運動計測装置が使用されることが多かった。この装置は機械部の摩擦力が大きいので、半潜水式海洋構造物のように流体力が小さい場合には計測精度に問題がある。計測に発光ダイオードを用いた光学式無接触運動計測装置を使用したとしても、発光ダイオードとカメラの同期をとるために通信ケーブルを模型に渡す必要があり、海洋観測用ブイのような小型で流体力が小さい浮体模型の運動を計測する場合は、ケーブルの取扱いに注意が必要であった。そこで本実験では、完全無接触型ともいえるカラートラッカーを用いて小型浮体模型の運動を計測したので、計測方法を紹介する。カラートラッckerを用いること、模型上には任意の色をした目標点（ターゲット）があるだけである、ケーブルを渡す必要がない。

図1に供試模型の概観と実験状態図を示す。供試模型は、船舶模型（排水量200kg程度）や石油掘削用プラットホーム模型（排水量100kg程度）と比較して、ローワーハルの最大径Dが約40cm、排水量が4kg弱と極めて小型であり、加わる流体力も小さい。運動計測は前記カラートラッckerを用いて行い、波高はサーボ式波高計を使って計測する。なお、波と運動の位相を知るために、両者の計測は同期を取って行

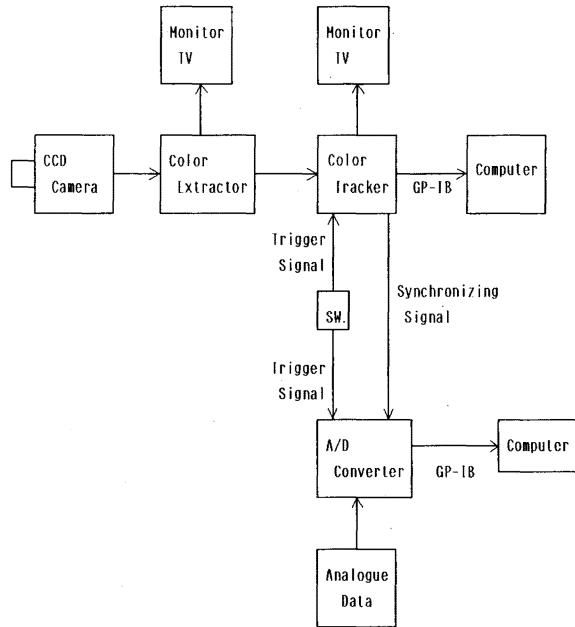


図2 運動計測システム

う。

カラートラッカーとは、専用のカラーテレビカメラ視野内で任意に選択された複数の色の物体だけを識別抽出し、そのX-Y位置座標をビデオレートで計測し、リアルタイムにデジタル出力する装置である。このデータをG P-I B回線を通じてパソコン等で受け取ることにより運動解析を行うことができる。物体の検出は、従来この種の機器に見られるような輝度差だけでなく、色差による検出のため外乱光に影響される事が少ない。X、Y方向の位置は一画面分のビデオ信号を約15メガヘルツでサンプリングすることにより、画面を水平方向512、垂直方向480個の画素に分解し（走査線の数は480本）、物体の画像を構成する複数個の画素の重心（図心）を演算することにより得られる。

図2にカラートラッカーによる運動計測装置の構成を示す。カラーイクストラクターで複数の色のターゲットを識別抽出し、カラートラッカーでターゲットの重心（図心）のX Y座標を計測する。それぞれのターゲットのX Y座標は、パソコンのファイルに格納される。運動以外の波、係留鎖変動張力等の計測出力はカラートラッカーから出力されるサンプリングクロックを用いて同期をとり、A/D変換し、パソコンのファイルに格納する。またこの場合、計測開始のトリガ信号をカラートラッカーとA/D変換器に入力し、計測開始時刻を合わせる。

実際の運動計測にあたり、カラートラッカーの計測精度をチェックするための性能試験を行った。試

験は計測面内での計測結果の歪み、分解能を調べる静的性能試験と、ターゲットを強制動揺しその振幅を計測する動的性能試験の2種類である。

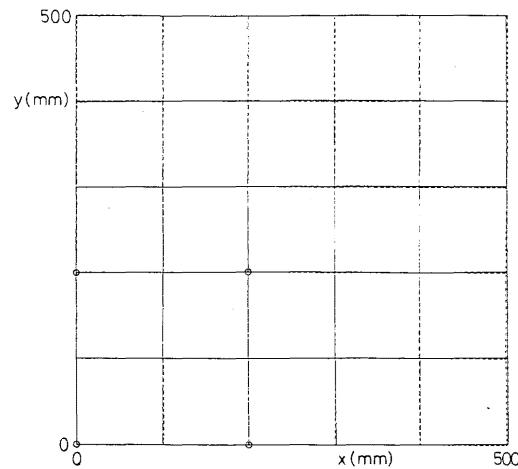


図3 カラートラッカー歪みテスト

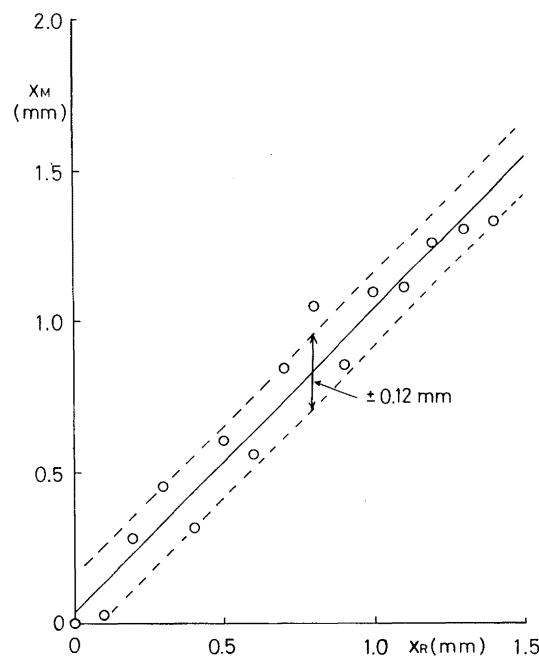


図4 カラートラッカーの空間分解能

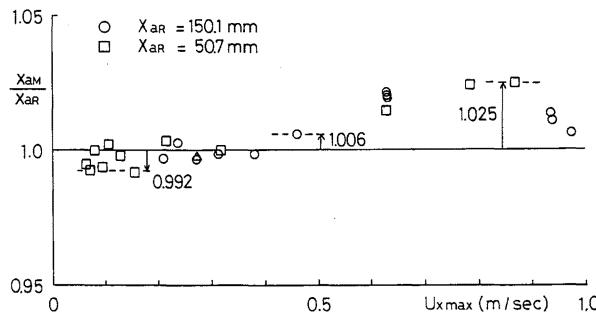


図5 カラートラッカーの動的性能試験

(1) 歪み計測試験

計測視野（水平・鉛直±500mm）の1/4面（第一象限）内に100mm間隔で格子を作り、各交点にターゲットを置き、位置を計測した。ターゲットの大きさは、20mm×20mmの正方形である。カメラのレンズ軸は、全視野の中心（座標原点）における法線と一致させた。図3に歪み試験の結果を示す。計測された格子の歪みは非常に小さく、1000mmの全視野の端点で±2mm以内である。

(2) 分解能計測試験

全視野（水平・鉛直±1000mm）の中心においてターゲットを水平、垂直方向に動かして位置を計測した。

ターゲットはノギスにつけ0.1mm刻みで動かした。なお、ターゲットの大きさは20mm×20mmの正方形である。図4は水平方向分解能試験の結果である。横軸が実際にターゲットをノギスにより移動させた距離、縦軸が計測された移動距離である。図より水平方向分解能は±0.26mm、すなわち視野の1/4000の分解能は満足されていると思われる。

(3) 動的性能試験

全視野を±250mmとし、その中心にターゲットを置いた。ターゲットの大きさは、20mm×20mmの正方形である。中心のターゲットをスコッチャードを使用した強制動搖装置で水平方向、垂直方向に強制動搖し、ターゲットの運動を計測し、振幅を解析した。実際に強制動搖装置により与えた運動振幅 X_{aR} と計測された振幅 X_{am} を比較することにより動的計測精度を調べる。運動振幅は水平方向に150.1mm、50.7mmの2種類で、それぞれ運動周期を変化させて計測を行った。なお、位置計測のサンプリングは30Hzである。図5はターゲットを水平方向に正弦的に強制動搖した場合の結果で、横軸は運動の最大速度、縦軸は計測された運動の振幅と実際に動かした振幅の比である。○は振幅が150.1mmの場合の結果、□は振幅が50.7mmの場合の結果である。ターゲットの最大移動速度が1.0m/secを越えるとターゲット位置計測にエラーが発生する。これはターゲットの残像等によりカメラが認識する色が変化し、設定した色抽出がうまくできなくなるためである。照明を明るくする必要があるものの、カメラに標準的に装備されている高速シャター機能を使用すればより高速で移動するターゲットに対応できるものと思われる。しか

し、通常の海洋構造物の水槽実験であれば、最大運動速度を 1 m/sec と考えても良いと思われる。運動計測装置としてカラートラッカーを使用した場合に、性能は十分満足であるものであることがわかった。

3. 供試模型及び実験状態

表 1 模型の主要寸法

空中重量	3. 33 kg
排水量	3. 83 kg
全高	475 mm
全幅	400 mm
係留鎖の初期張力	4. 09 kg

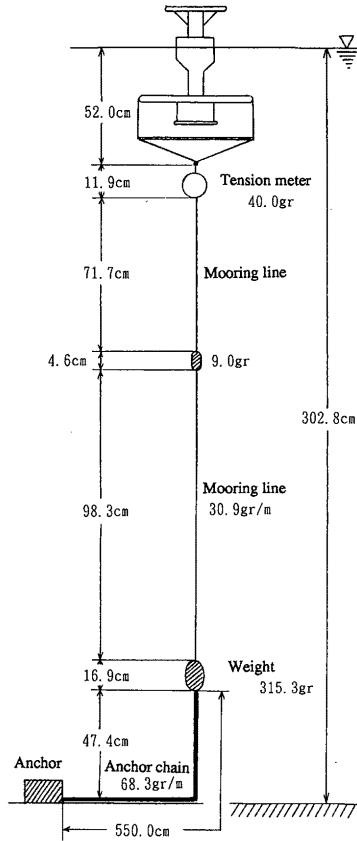


図 6 模型係留状態

表1に供試模型の主要寸法を示す。模型は実機の1/50程度を想定しており、実機の最大幅は20m、高さ23.75m、排水量478.75tonである。実験結果は横軸、縦軸ともに無次元値で整理するので、任意の寸法の実機を想定できる。また、係留水深は実機の場合は1500mを予定しているが、係留系の相似性を保つて実験を行うことは実験水槽の深さ（3m）から考えて不可能であるため、図6に示すように係留鎖の重量を鐘を付加することで調整した。従って、係留系の持つ運動減衰能力は過少評価することになるが、

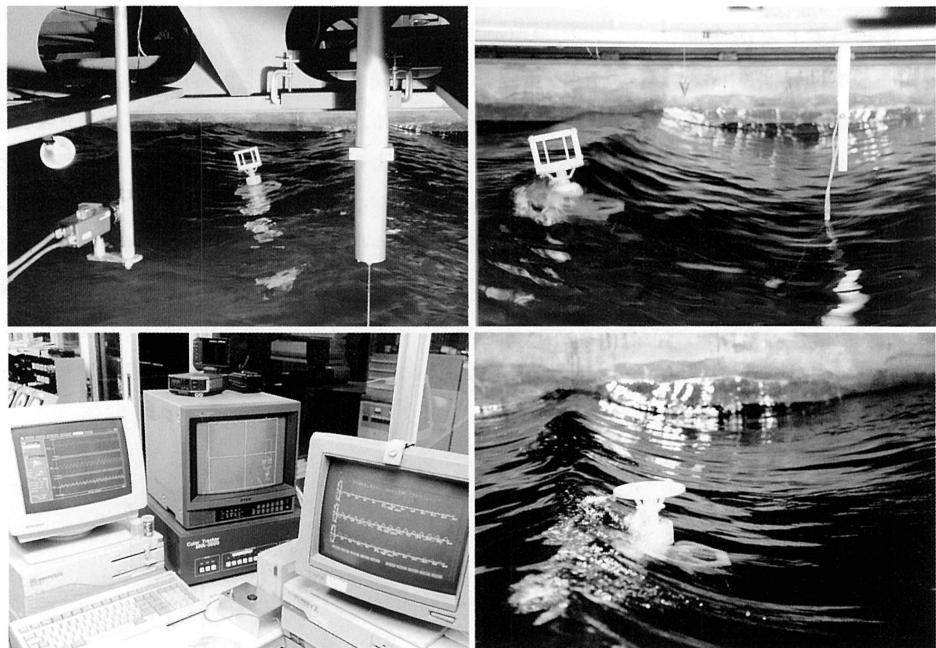


写真1 実験状態

表2 実験に使用した規則波

水槽に於ける波（実見貝口波）				
周期 T (sec)	波高 H (cm)	波長 λ (m)	Steepness H/λ	
1	0.57	1.7	0.507	1/29.8
2	0.76	3.9	0.902	1/23.1
3	0.85	9.0	1.133	1/12.3
4	0.99	11.2	1.530	1/13.7
5	1.12	15.7	1.972	1/12.6
6	1.27	19.0	2.509	1/13.2
7	1.41	22.7	3.107	1/13.7
8	1.56	24.5	3.803	1/15.5
9	1.70	28.0	4.532	1/16.2
10	1.84	27.5	5.296	1/19.3
11	1.98	24.9	6.125	1/24.6
12	2.13	22.8	7.082	1/31.1
13	2.26	23.2	7.993	1/34.5

係留ラインの復元力、慣性力などについては、ある程度のシミュレーションは可能であると考えられる。

写真1に実験風景を示す。実験は津屋崎海洋災害実験所大水槽(長さ×幅×深さ = 80m × 8m × 3m)で行った。実験項目は規則波中の運動計測であり、計測項目は波高、上下揺、前後揺、縦揺及び係留ラインの変動張力である。表2に実験に使用した規則波の要目を示す。これらの値を実機に換算すると、模型レベルで周期1.70秒、波高28.0cmは周期12秒で波高13mに相当し、厳しい海象条件である。

4. 実験結果とその考察

図7～図12に規則波中の実験結果を示す。図7は前後揺に関する振幅と位相の応答関数である。縦軸は前後揺振幅と波高の比及び位相、横軸は無次元周波数である。実験結果から前後揺の同調周波数を特定することは出来ないが、一点係留の場合には係留ラインによる前後揺復元力係数が風、波、潮流による漂流力によって変化するので、同調周波数にはそれ程意味がない。なお、実際には波による漂流力以外に風、潮流等による漂流力が働くが実験では、これらの力を付加していない。また、図中に示した特異点分布法による計算値には、粘性減衰力は考慮していない。通常の海洋構造物の実験と比較して、相対的に大波高であるために、非線形効果が表われており、理論計算値と実験値の一致はそれ程良くないが、実用的には十分の精度で一致している。さらに図中には、スパークイタイプの海洋観測プラットホー

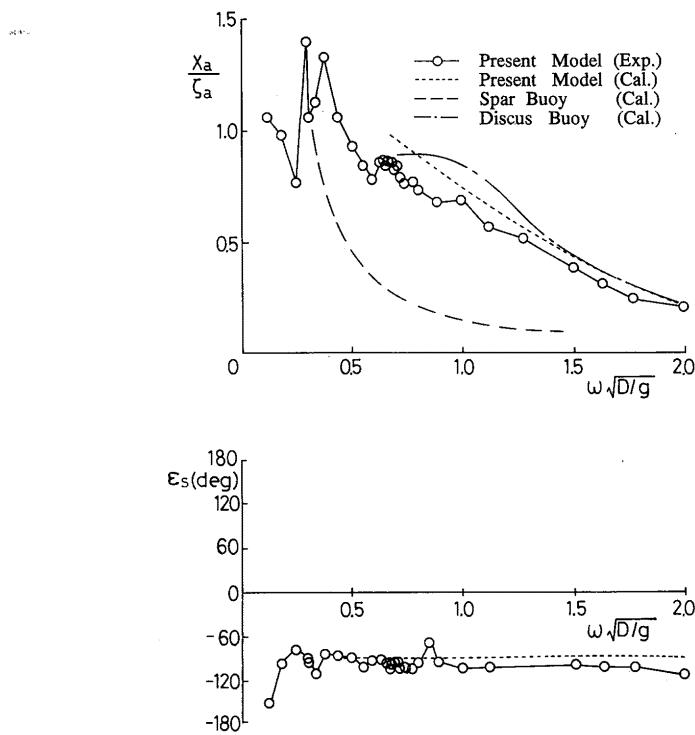


図7 前後揺応答関数と位相差

ム³⁾とディスカスブイ⁴⁾の運動を比較のために示している。本実験で対象としている形式は半潜水式海洋構造物に属するものであるが、前後揺はスパー・ブイよりも大きく、ディスカスブイと同程度である。半潜水式海洋構造物は力学的にはスパー・ブイと同等のものであるが、緊張係留を採用するためには、定常力の変化による定常引き込みに耐えなければならない。このために、ある程度の上下方向静的復原力を必要とする。この目的で図6に示すように水面付近に浮力体を付加しているために前後揺が大きいと考えられる。一般的に実海域での設置及び維持はディスカスブイが最も簡単であるので、運動が大きいこと等を考慮に入れた上で、どのタイプを採用するかを決定する。

図8は上下揺に関する実験結果である。本実験の模型の場合には、低周波数帯では振幅の応答関数が約1.0で一定値となる。また、スパー・ブイの上下揺よりもかなり大きい。これは、水面付近に付加した浮力体による影響であるが、ディスカスブイと比較すると非常に小さい。

図9は縦揺に関する実験結果である。実験結果は縦揺はディスカスブイと比較すると十分に小さいことを示している。また、実験と計算は振幅応答関数についてはよく一致しているが、位相にはかなりの差がある。この点については今後検討を必要とする。

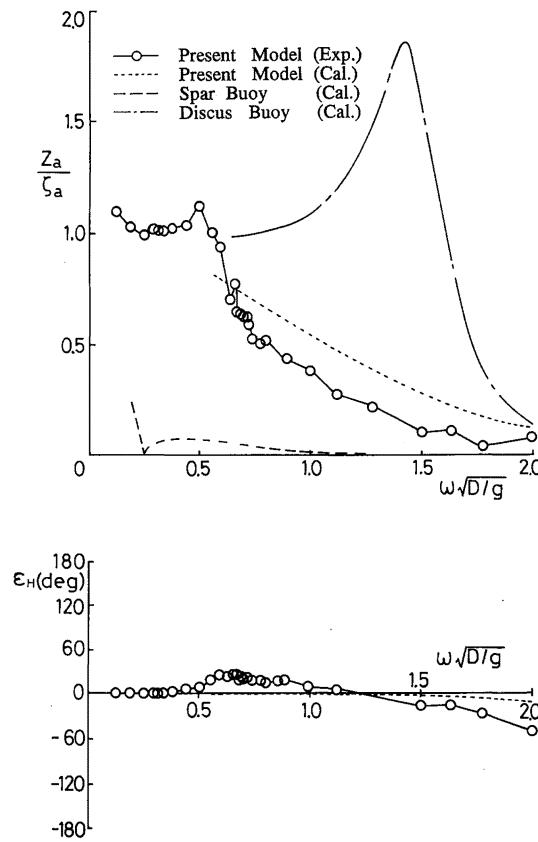


図8 上下揺応答関数と位相差

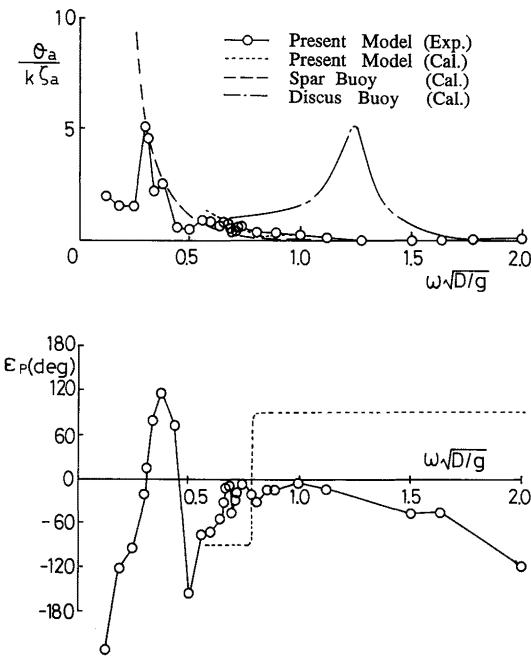


図9 縦振応答関数と位相差

以上のようにブイの運動性能はスパーブイよりは若干悪いものの、無次元周波数 $\omega \sqrt{D/g} > 1.0$ の範囲では運動応答関数は十分に小さい。従って、暴風時のように大波高で長周期の波が入射する場合等を除けば、ブイの運動は小さく、計測のためには十分に安定していると言える。

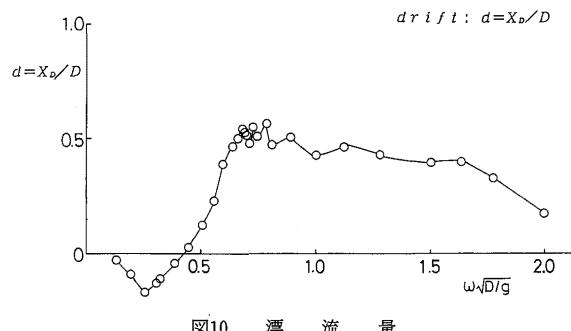


図10 漂 流 量

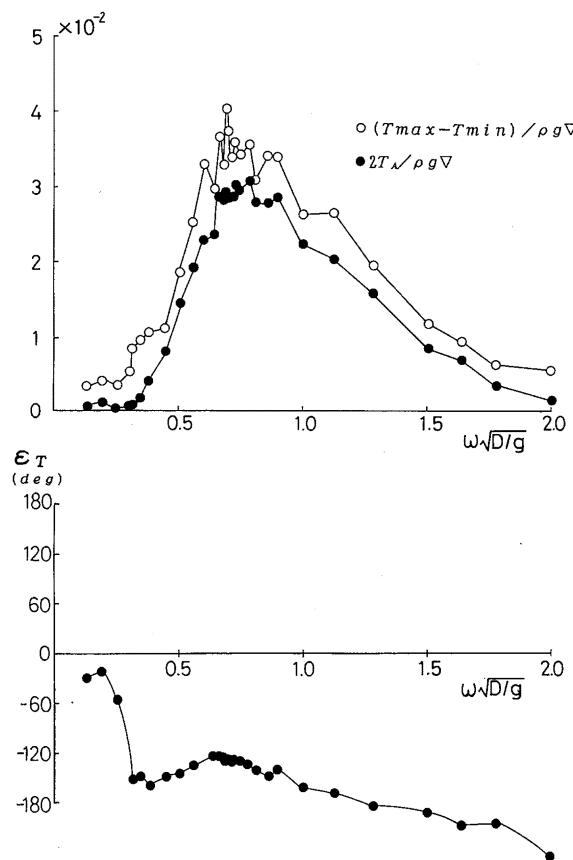


図11 張力変動

図10は漂流量の結果である。従来、小型模型の漂流量を精度よく計測することは大変困難であったが、本研究で使用した完全無接触変位計では極めて精度良く計測できる。低周波数域で負になる領域があるが、この点については今後検討を要する。

図11は係留ラインの変動張力の実験の結果である。必ずしも運動が最大となる波周波数と張力が最大値となる波周波数は一致していない。これは各運動の振幅だけでなくその位相との関連で張力が定まるためである。

図12は時系列データの一例である。縦搖にかなりの非線形性が見られる。これは係留点がブイの下にあるために係留ラインの影響が縦搖に大きく現れることが原因である。

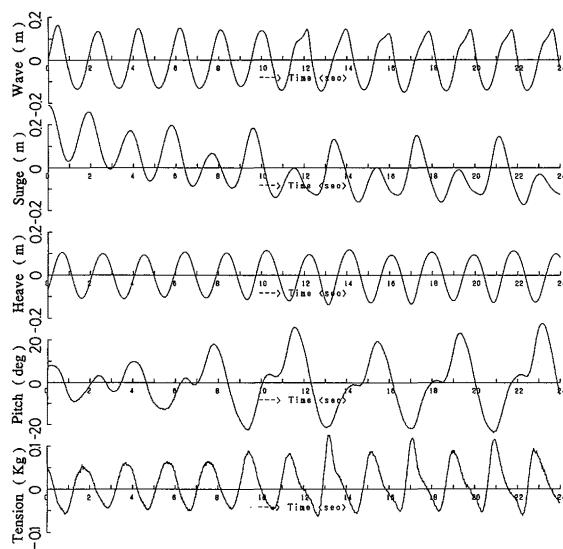


図12 運動および張力変動の時系列

5. 終わりに

本研究によって、海洋観測に用いられる小型のブイであっても、精度良く模型実験を行うことが可能となった。今後は今回開発された実験システムを利用して、高性能の観測ブイシステムを開発したい。なお、本研究の一部は平成2年度教育研究学内特別経費「大気海洋相互作用研究用海上プラットホームの位置保持システムの研究」によって行われたものであり、関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小寺山 亘, 中村 昌彦, 金子 新, 経塚 雄策, 柏木 正, 稲田 勝, 石寺 博, 伊藤 謙: 海洋観測用高速曳航体の開発研究(第2報曳航曳航体の構造と実海域実験), 日本造船学論文集第166号
- 2) 小寺山 亘, 水野 信二郎, 光易 恒: 海洋混合層水温計測用ブイシステムの設計, 日仏海洋学会誌, Vol. 24 No. 3
- 3) 田才 福造等: 海上実験による海洋観測ステーションの開発研究(第1報), 九州大学応用力学研究所報第46号, 17-109
- 4) 根間 清: 軸対称物体に働く流体力の計算法, 関西造船協会誌第193号, 61-70

(平成4年5月1日 受理)