

## 減揺翼の効果に関する実船実験

上野道雄\*、田口晴邦\*、市川吉郎\*\*

### Full - scale Experiment for Investigating an Effect of Anti - Rolling Board by

Michio UENO\*, Harukuni TAGUCHI\*, Yoshiro ICHIKAWA\*\*

#### Abstract

A Full - scale experiment for investigating an effect of Anti - Rolling Board (A.R.B.) equipped with a 35 - meter patrol boat was carried out at offshore of Jyogashima Miura peninsula. According to crews' observation, wave height was about 0.5m during the experiment. Since main duty of this ship is watching coastwise routes, this A.R.B. is equipped for the purpose of decreasing roll motion when her speed is approximately zero knot. While the effectiveness of this A.R.B. has been experienced by her crews, the objective of this full - scale experiment, evaluating its effect quantitatively, was achieved by analyzing the data of pitching, rolling, relative wave at bow and vertical acceleration at bow. In fact, it was revealed by analyzing the data of this experiment that roll amplitude in roll natural frequency region is decreased by about 50 percent and that standard deviation of roll motion at sea is decreased by about 24 percent by A.R.B..

#### 1. 緒言

揺れの少ない船を造ることあるいは船の揺れを軽減することは船が誕生して以来の課題といっても過言ではなく、特に横揺れを軽減することは作業性や居住性等の面からだけでなく安全性の面からも非常に重要な問題である。船の横揺れを軽減する装置としてはビルジキール、減揺フィン、減揺水槽等がよく知られているが、本研究では減揺翼と呼ばれる比較的新しいと思われる装置を取り上げ、その効果について調査した結

果について報告する。

固定型減揺フィン的一种と考えられるこの減揺翼は主として小型船の停船時の横揺れを減少させるための装置であることにその特徴がある。すなわち、この減揺翼は停船時には横揺れを減少させる目的で船尾船側部から展張して使用されるが航走時には抵抗とならないように船尾船側部に収納されるという機構を持った装置である。

このような減揺翼を装備した船はこれまでに数隻建

\* 運動性能部

\*\* 海上保安庁

原稿受付 平成5年7月2日

審査済 平成5年9月8日

造されているが、著者らが現在知る限り、その効果に関する公表された調査研究報告はない。しかし、その効果が確認されれば他の船に広く活用される可能性があると考えられる。そこで、この減揺翼を実際に装備した船（新造船）を対象として実海域でこの減揺翼の効果を調べる実験を実施した。この船の減揺翼については、すでに試運転段階で乗員らがある程度は体験的にその効果を感じていたところであるが、今回の実船実験の目的はこれを定量的に把握することにある。

減揺翼の効果を定量的に判断するためには入射波に対する横揺れ等船体運動の振幅応答関数を求める必要があるが、実船実験でこれを求めた例は少ない。これは信頼できる入射波のデータが得にくいためであると考えられる。特に本実験の場合は入射波のデータを直接計測することができなかったため、船首上下加速度と船首部相対水位の各データからFFT法を使って船首部海面変位を推定する手法を用い、これを入射波のデータとして各船体運動の振幅応答関数を計算した。

2. 実験

2.1 供試船とその減揺翼

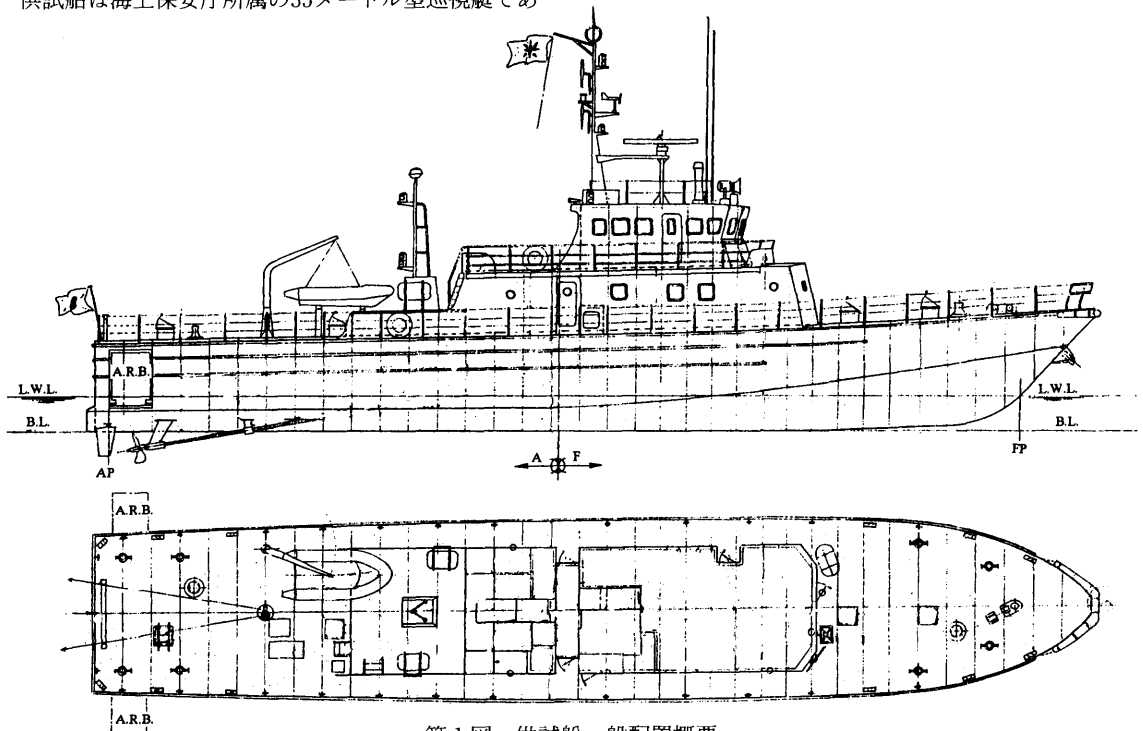
供試船は海上保安庁所属の35メートル型巡視艇である。

この巡視艇は航路監視を主たる任務としており、停船状態での横揺れ運動を小さくするため減揺翼が装備されている。

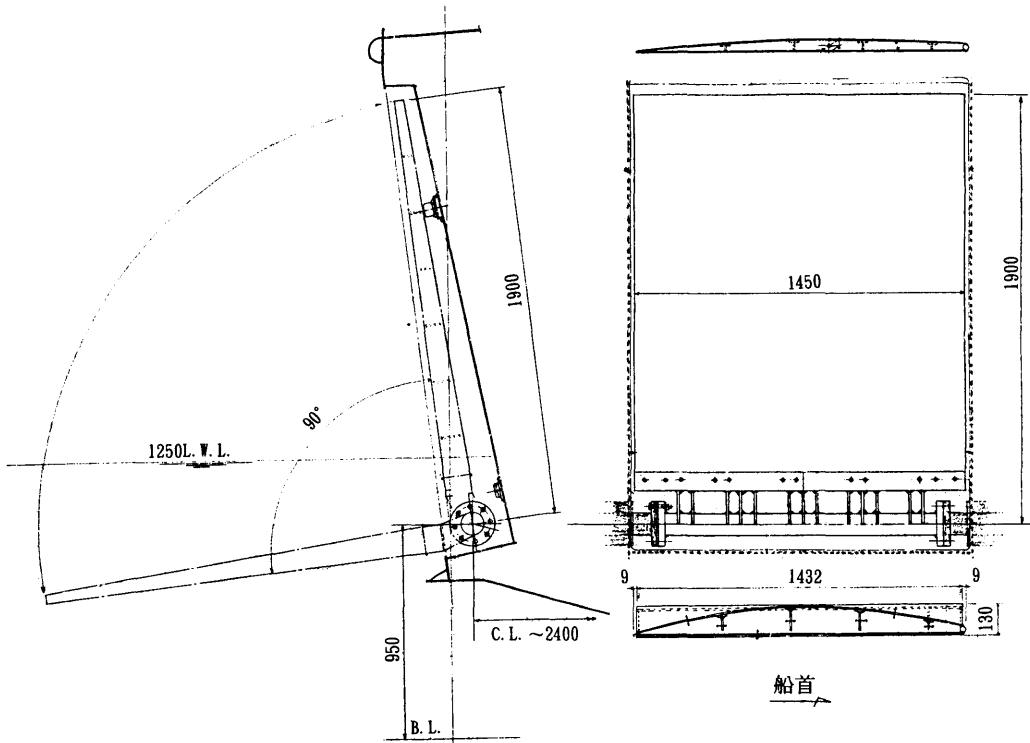
供試船の主要寸法等を第1表に、一般配置概要を第1図にそれぞれ示す。第1図中船体後部両舷に「A.R.B.」(Anti-Rolling Board)で記した部分が減揺翼である。第2図に示すように減揺翼は喫水0.3m位置のヒンジを回転させることによって展張あるいは収納をおこなうことができる。減揺翼の幅は1.45mで、ヒンジからの長さは1.9mである。翼断面形状は円弧

第1表 供試船主要寸法等

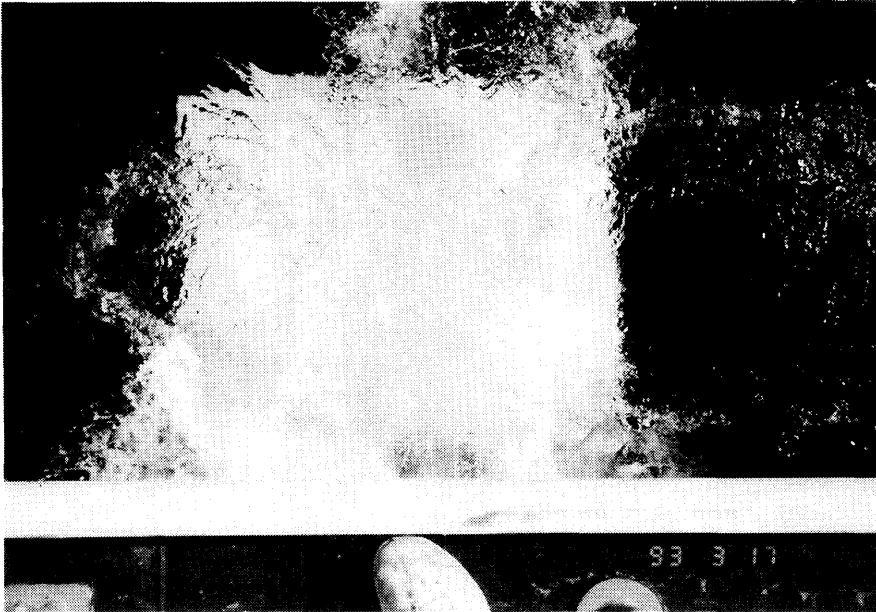
全長	35.00m
計画喫水船長	32.50m
幅	6.30m
深さ(船体中央)	3.40m
計画満載喫水	1.25m
計画満載排水量	約125ton



第1図 供試船一般配置概要



第2図 減揺翼概要



第3図 減揺翼作動状況

翼に近い形状で翼厚はヒンジに最も近い部分で0.13mの最大値を取る。船が直立状態の場合、展張した減揺翼の角度は水平から下向きに約7度である。展張時減揺翼の作動状況を第3図に示す。

減揺翼収納時の横揺れ固有周期は復原性試験によると4.40秒 ( $\omega=1.43\text{r/s}$ ,  $\omega$ ; 円周波数) である。また、上下揺れの付加質量を船の質量と等しいと仮定して推定した上下揺れの固有周期は2.44秒 ( $\omega=2.58\text{r/s}$ ) であり、付加質量を含んだ縦慣動半径を0.35L (L; 供試船全長) と仮定して推定した縦揺れ周期は2.40秒 ( $\omega=2.62\text{r/s}$ ) である。

## 2.2 実験状態

1993年3月17日に三浦半島城ヶ島沖において実験を実施した。実験状態を第2表にまとめて示す。いずれも停船状態 (船速:  $V=0$ ) で、減揺翼を収納した状態と展張した状態それぞれについて、波との出会い角度 ( $\chi$ ) を斜め向かい波 ( $\chi=225\text{deg.}$ ), 横波 ( $\chi=270\text{deg.}$ ), 斜め追い波 ( $\chi=315\text{deg.}$ ) の3種類に変化させて実験を実施した。波はいずれも左舷側から入射してくる状態である。ただし、実験時の入射波は短波頂不規則波であるため、波との出会い角度はあくまで目標であって、操船者がこれらの目標状態になるように目視判断によって操船をおこなった。船上でデータ計測をおこなっていた著者らの見たところでは、いずれの実験状態においても目標とする波との出会い角度よりも実際の出会い角度は大きく、すなわち目標より少し追い波状態にずれているように感じられた。波高は当日の乗員の目視観測では「50cmくらい」であった。

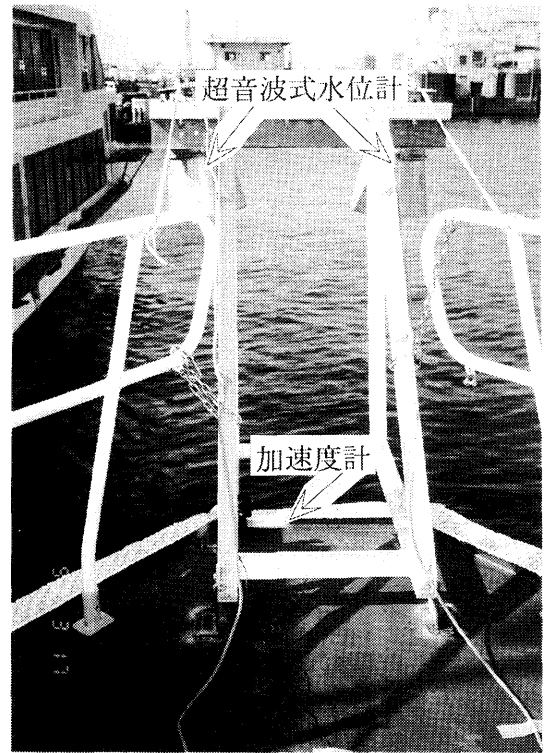
計測中の操船に関しては、特に斜め向かい波状態の場合には波との出会い角度を計測中一定に保つため頻繁に主機を前後進に運転していた。横波および斜め追い波状態では計測中主機はほとんど停止状態にあった。

第2表 実験状態

実験番号	波との出会い角 (目標値)	減揺翼状態	船速
1	225deg.	収納	0kt
2	270deg.	収納	0kt
3	315deg.	収納	0kt
4	315deg.	展張	0kt
5	270deg.	展張	0kt
6	225deg.	展張	0kt

## 2.3 計測項目

計測項目は、縦揺れ角度、横揺れ角度、船首部相対水位、船首上下加速度の4項目である。縦揺れおよび横揺れ角度についてはバーティカルジャイロによって計測した。船首部相対水位は超音波式水位計を船首先



第4図 超音波式水位計と加速度計の設置状況

端に取り付けて計測をおこなった。船首上下加速度は超音波式水位計のすぐ下に設置した加速度計によって計測した。超音波式水位計と加速度計の設置状況を第4図に示す。

データは全項目とも2ヘルツ以上の高周波成分を除去する電氣的フィルターを通した後にA/D変換をおこなった。これは特に加速度計に混入する主機による高周波の振動を除去するためである。計測時間は1計測につき20分以上とした。実際は1計測1項目当たり12400個余りのデータを得た。A/D変換は10ヘルツのサンプリングでおこなった。

### 3. 解析と考察

#### 3.1 船首部海面変位の推定

入射波と船体運動の関係を求めるためには、入射波による海面変位の時系列データを求める必要があるが、今回の実験では海面の変位を直接計測することができなかつたため、船首上下加速度と船首部相対水位のデータから船首部海面変位データの推定をおこなった。その手順は以下のとおりである。

まず、船首上下加速度の時系列データから船首上下変位の時系列データを、

$$z_b(t) = F^{-1} \{-F\{a_b(t)\}/\omega^2\}$$

によって求めた。ここで $a_b(t)$ 、 $z_b(t)$ はそれぞれ船首上下加速度と船首上下変位の時系列データを表わす。いずれも上向きを正とする。また、 $F\{\}$ はフーリエ変換を $F^{-1}\{\}$ はフーリエ逆変換を表わす。ただし $F\{a_b(t)\}$ の $\omega$ が0.5以下の成分についてはフーリエ逆変換の前に強制的にこれを0と置いている。これは、 $\omega^2$ で除算をする場合に低周波数領域で誤差が過大評価されフーリエ逆変換後の $z_b(t)$ にその影響が出るのを防ぐためである。 $\omega$ が0.5以下の成分を強制的に0とする対象としたのは、 $F\{a_b(t)\}$ の結果からパワーのほとんどないと判断される周波数領域を選んだためである。なお、フーリエ変換については、1計測1項目当たりの12400個余りのデータと残り0を含む $2^{14}$ (=16384)個のデータを対象とした。また、フーリエ変換およびフーリエ逆変換にはFFT法を用いた。

次に、

$$\zeta_a(t) = \zeta_r(t) + z_b(t)$$

によって船首部海面変位の時系列データを求めた。ここで $\zeta_r(t)$ 、 $\zeta_a(t)$ はそれぞれ船首部相対水位と船首部海面変位の時系列データを表わす。いずれも上向きを正としている。

以上が船首部の海面変位の時系列データを求めた手順である。この手法ではたとえば今回のような長時間にわたる船首上下加速度データを時間領域で2階積分する場合に予想されるような誤差の累積を心配する必要がない。ただ $\omega^2$ で除算をする場合にある周波数よりも低周波数領域の成分を強制的に0とするための最低周波数を決める必要があり、この周波数の選択には任意性が残る。しかし、周波数が0近辺の低周波数領域は船体応答を考えると物理的に重要ではないことが多い。またどの周波数成分までを強制的に0としたかがはっきりしているため、この手法はその後の解析結果の解釈にも曖昧な部分を残すことが少ないと思わ

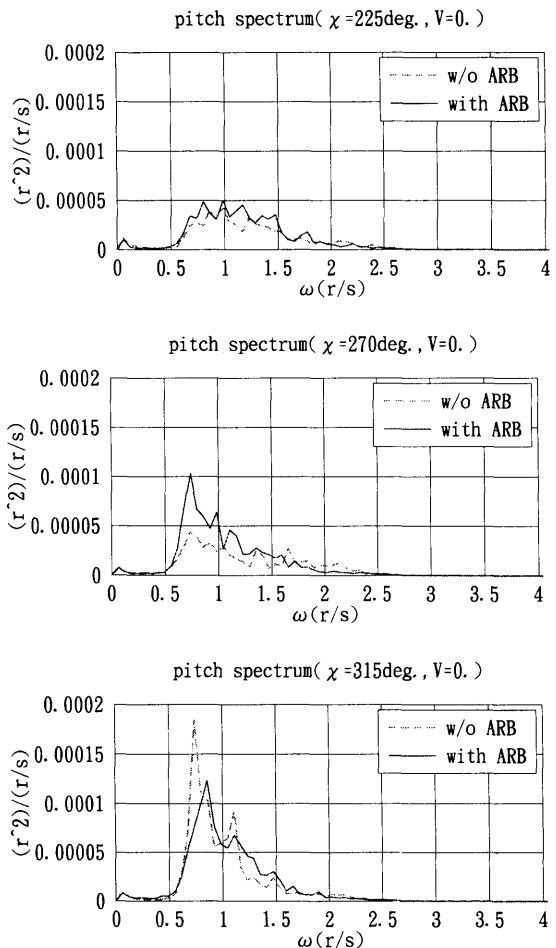
れる。したがって、そのデータの性質上最低周波数を容易に決めることのできる場合は特に有効な手法と考えられる。

本実験解析におけるこの手法の妥当性については、計測された4項目に船首部上下変位と船首部海面変位のデータを加えた6項目を対象とした後述のスペクトル解析と統計解析の結果と共に検討する。

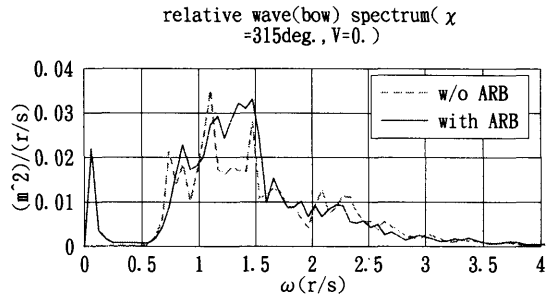
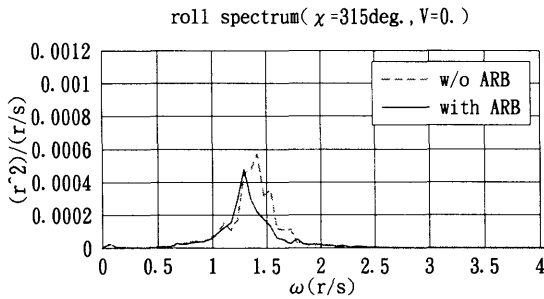
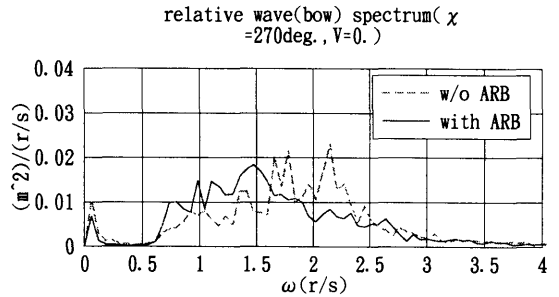
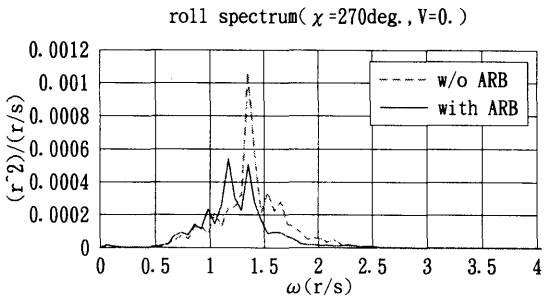
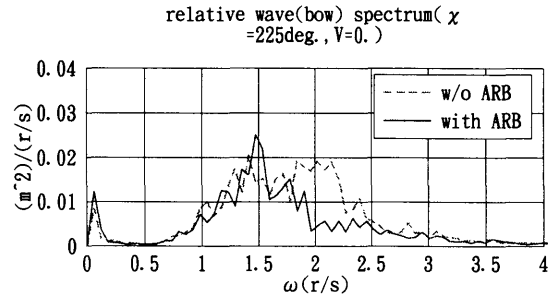
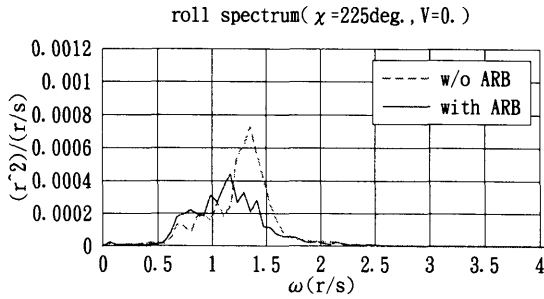
#### 3.2 スペクトル解析

##### 3.2.1 パワースペクトル

FFT法を用いて各項目のパワースペクトルを計算した。各実験各項目の時系列データ中にデータ数を512個ずつずらした1024個のデータブロックを23箇所取り、各データブロックについてFFTをおこなって23個の



第5図 縦揺れのパワースペクトル



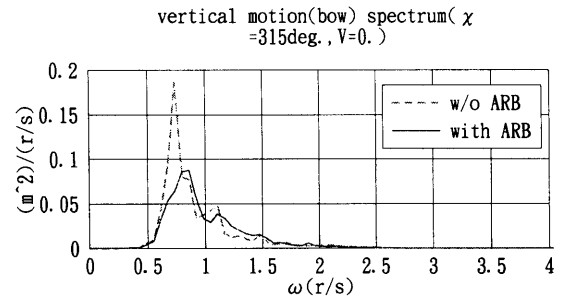
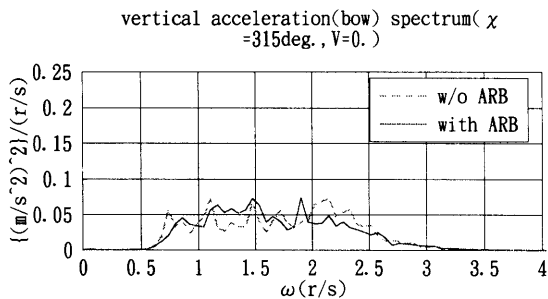
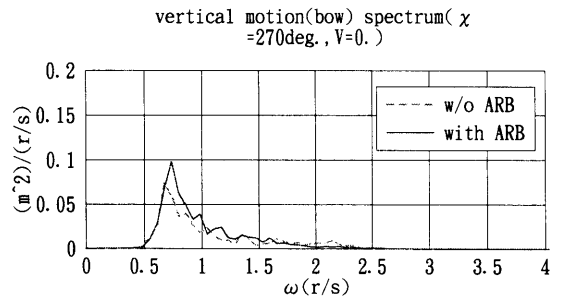
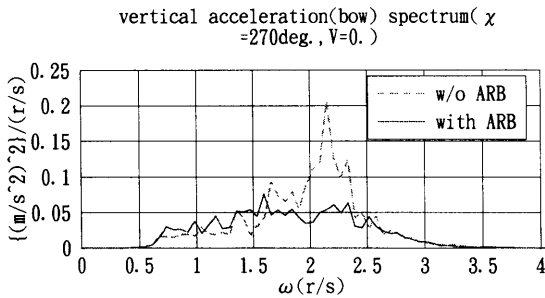
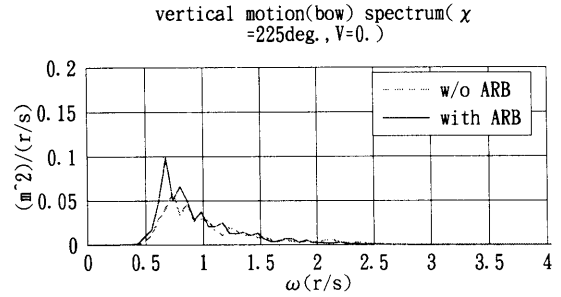
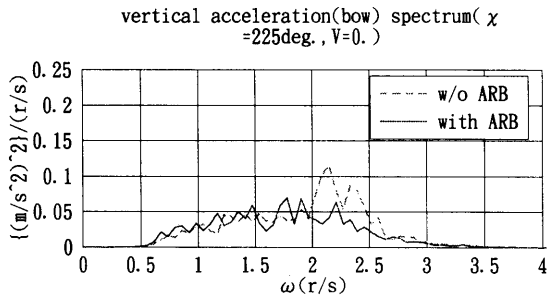
第6図 横揺れのパワースペクトル

第7図 船首部相対水位のパワースペクトル

パワースペクトルを計算し、これらを平均してその計測データのパワースペクトルとした。個々のパワースペクトルに対する直接の平滑化はおこなっていない。結果を第5図から第11図に示す。第11図は第10図の船首部海面変位のパワースペクトルを波振幅に波数を乗じた波傾斜のパワースペクトルに変換して表わしたものである。実験時の海面は短波頂不規則波状態であるため波振幅から波傾斜へのこの変換は厳密には正しくないと思われるが、波傾斜を実際に計測していないためこの変換を用いて波傾斜のパワースペクトルを求めたこととした。

前述のように、船首上下変位を求める際にフーリエ逆変換データ中の $\omega$ が0.5以下の成分を0と置くこととしたのは、第8図の船首上下加速度のパワースペクトル形状から判断した結果である。前述の手順によって求めた船首上下変位と船首部海面変位はそれぞれのパワースペクトル形状から見る限り特に問題はないと思われる。

減揺翼の効果については、第10図船首部海面変位のパワースペクトルからわかるように各計測時の入射波の状態が異なっているため、これら個々のパワースペクトル形状の違いだけから判定することはできない。



第8図 船首上下加速度のパワースペクトル

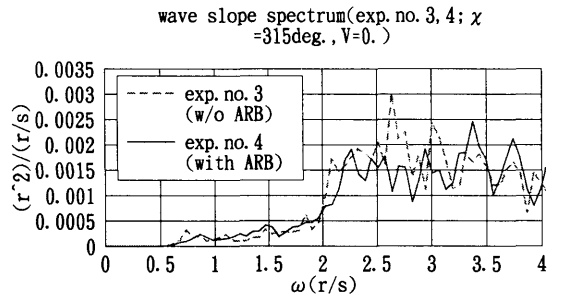
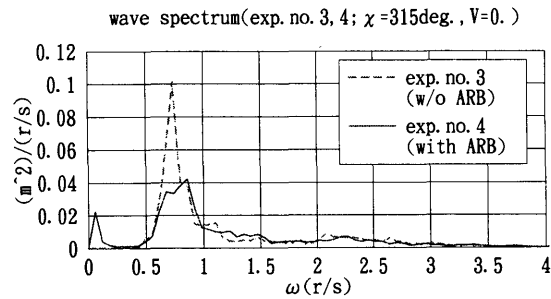
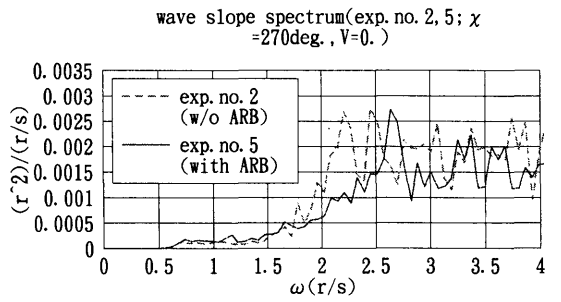
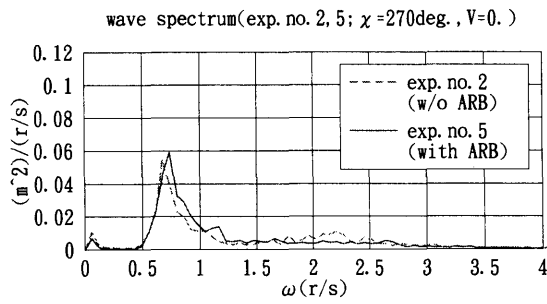
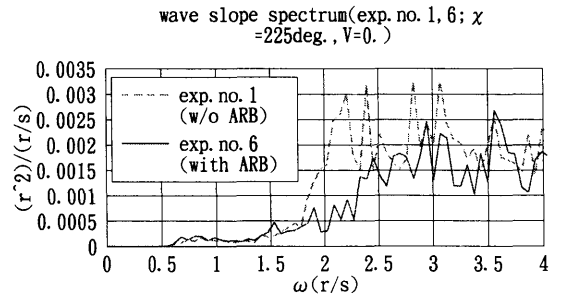
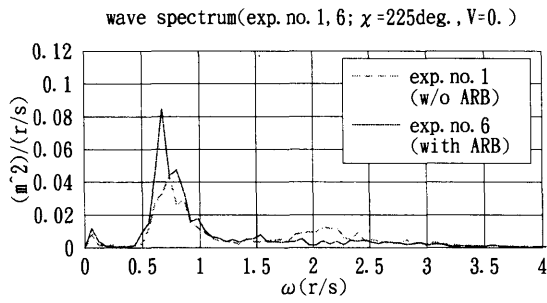
第9図 船首上下変位のパワースペクトル

これについては3.2.2と4.で述べることにする。

各項目のパワースペクトル形状から求めた値を第3表と第4表にまとめて示す。前者が減揺翼を収納した状態で後者が減揺翼を展張した状態の結果である。r.wave, v.acc., v.motion, a.waveはそれぞれ船首部相対水位、船首上下加速度、船首上下変位、船首部海面変位を表す。m0はパワースペクトルの面積を表す。b.w.p.はバンド幅パラメータ(無次元)を表す。t01, t02, t24はそれぞれパワースペクトルの0次(m0)と1次のモーメントから求めた周期、0次と2次のモーメントから求めた周期、2次と4次のモ

ーメントから求めた周期である。tpはパワースペクトルの最大値の点に対応する周期である。これらはいずれも秒の単位である。なお、これらを計算するためのパワースペクトルの積分は $\omega=0.37$ から $\omega=3.99$ の範囲でおこなった。

$\sqrt{m0}$ は時系列データの標準偏差に対応する。また、バンド幅パラメータを見ると横揺れが比較的狭帯域であることがわかる。また、海面変位は最も広帯域となっている。t01等については後述の統計解析結果とあわせて検討することとする。



第10図 船首部海面変位のパワースペクトル

第11図 船首部波傾斜のパワースペクトル



第3表 パワースペクトル解析結果(減揺翼収納状態)

spectrum information							$\chi=225\text{deg.}, V=0., \text{w/o ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	3.28E-01	1.04E+00	1.59E-01	3.11E-01	1.69E-01	1.58E-01							
b. w. p.	0.655	0.493	0.563	0.484	0.701	0.734							
t01(s)	5.0	4.9	3.4	3.3	5.8	4.3							
t02(s)	4.6	4.8	3.2	3.1	5.4	3.7							
t24(s)	3.5	4.1	2.7	2.7	3.8	2.5							
tp(s)	6.4	4.7	4.5	2.9	8.5	8.5							

spectrum information							$\chi=270\text{deg.}, V=0., \text{w/o ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	3.33E-01	1.01E+00	1.50E-01	3.47E-01	1.75E-01	1.56E-01							
b. w. p.	0.664	0.462	0.561	0.436	0.714	0.755							
t01(s)	4.9	4.5	3.3	3.2	5.8	4.5							
t02(s)	4.5	4.4	3.1	3.1	5.3	3.8							
t24(s)	3.4	3.9	2.6	2.8	3.7	2.5							
tp(s)	8.5	4.7	2.9	2.9	9.3	9.3							

spectrum information							$\chi=315\text{deg.}, V=0., \text{w/o ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	4.45E-01	8.52E-01	1.66E-01	2.98E-01	2.15E-01	1.71E-01							
b. w. p.	0.713	0.429	0.657	0.542	0.700	0.793							
t01(s)	6.1	4.5	3.9	3.6	6.6	5.1							
t02(s)	5.7	4.4	3.6	3.4	6.2	4.3							
t24(s)	4.0	4.0	2.7	2.9	4.4	2.6							
tp(s)	8.5	4.5	5.7	2.9	8.5	8.5							

第4表 パワースペクトル解析結果(減揺翼展張状態)

spectrum information							$\chi=225\text{deg.}, V=0., \text{with ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	3.66E-01	9.37E-01	1.37E-01	2.80E-01	1.93E-01	1.70E-01							
b. w. p.	0.655	0.579	0.618	0.556	0.702	0.827							
t01(s)	5.2	5.3	3.6	3.6	6.6	5.5							
t02(s)	4.9	5.1	3.4	3.4	6.1	4.6							
t24(s)	3.7	4.2	2.6	2.8	4.3	2.6							
tp(s)	6.4	5.4	4.3	3.5	9.3	9.3							

spectrum information							$\chi=270\text{deg.}, V=0., \text{with ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	3.96E-01	8.69E-01	1.49E-01	2.98E-01	1.89E-01	1.58E-01							
b. w. p.	0.700	0.536	0.637	0.536	0.699	0.792							
t01(s)	5.8	5.0	3.7	3.4	6.3	5.0							
t02(s)	5.4	4.8	3.5	3.3	5.8	4.2							
t24(s)	3.8	4.0	2.7	2.8	4.2	2.6							
tp(s)	8.5	5.4	4.3	3.9	8.5	8.5							

spectrum information							$\chi=315\text{deg.}, V=0., \text{with ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave	unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
$\sqrt{m0}$	4.49E-01	7.28E-01	1.79E-01	2.99E-01	2.05E-01	1.57E-01							
b. w. p.	0.667	0.493	0.664	0.568	0.650	0.781							
t01(s)	5.8	4.7	4.1	3.8	6.2	4.9							
t02(s)	5.5	4.5	3.8	3.5	5.9	4.2							
t24(s)	4.1	3.9	2.8	2.9	4.5	2.6							
tp(s)	7.3	4.9	4.3	3.3	7.3	7.3							

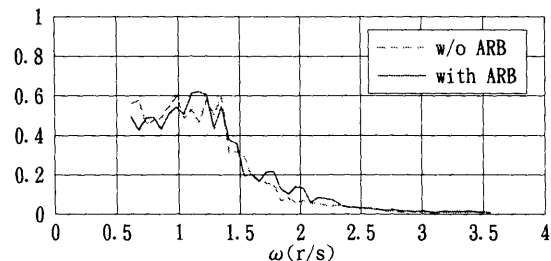
3.2.2 振幅応答関数

計測された時系列データから求めた各船体応答のパワースペクトルについては、入力としての入射波の状態が異なるためにそのままでは定量的な比較をすることができない。そこで、入力としての波振幅あるいは波傾斜のパワースペクトル ( $S_{ww}(\omega)$ )と出力としての各種船体応答のパワースペクトル ( $S_{rr}(\omega)$ )から、

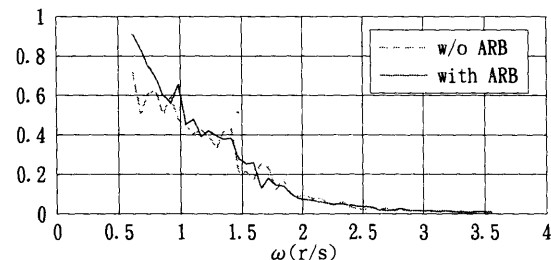
$$H_r(\omega) = \sqrt{S_{rr}(\omega)/S_{ww}(\omega)}$$

によって各項目の振幅応答関数 ( $H_r(\omega)$ )を求めた。このような形にすれば減揺翼の収納状態と展張状態の定量的な比較ができることになる。なお、ここでの波振幅あるいは波傾斜のパワースペクトルは前述のよう

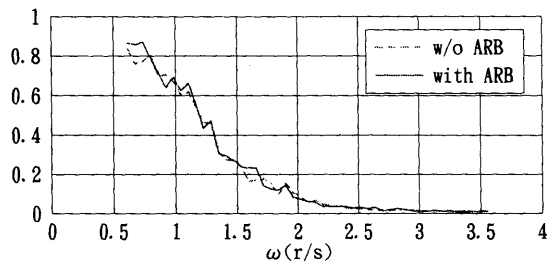
(pitch amp.)/(wave slope), ( $\chi=225\text{deg.}, V=0.$ )



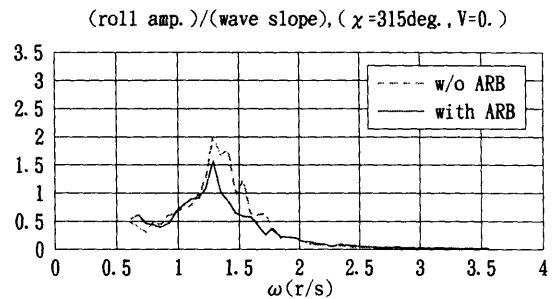
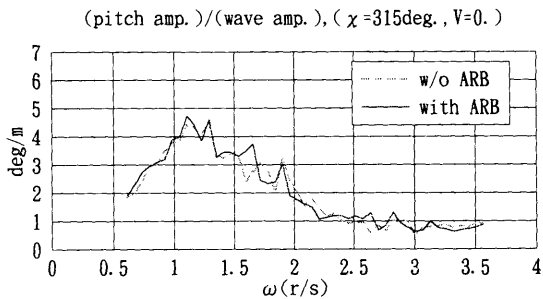
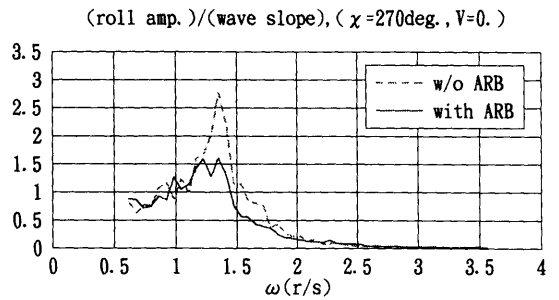
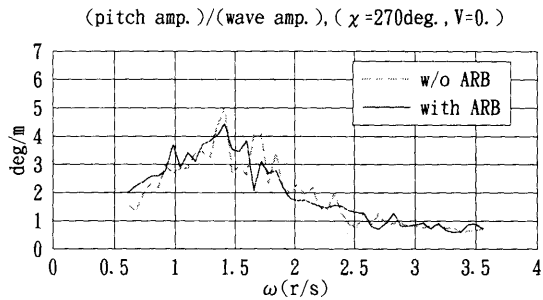
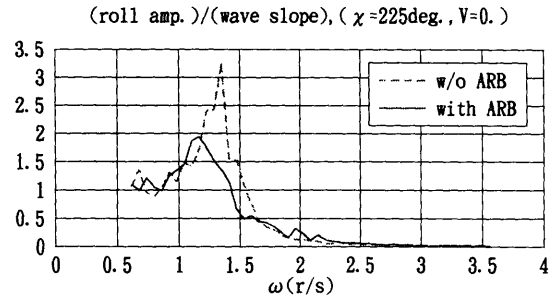
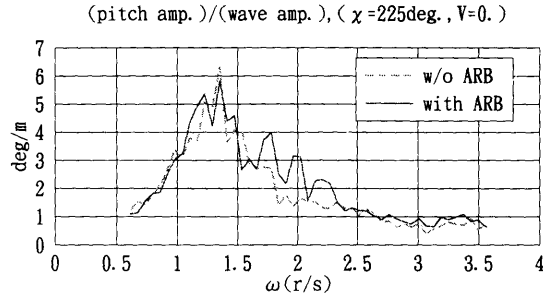
(pitch amp.)/(wave slope), ( $\chi=270\text{deg.}, V=0.$ )



(pitch amp.)/(wave slope), ( $\chi=315\text{deg.}, V=0.$ )



第12図 縦揺れの振幅応答関数 (船首部波傾斜比)



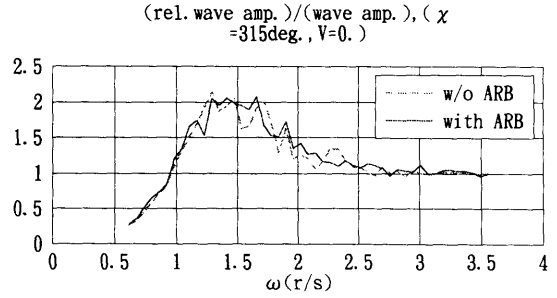
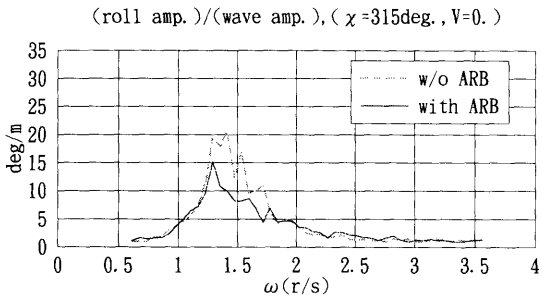
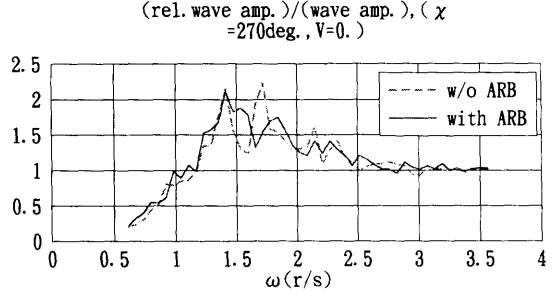
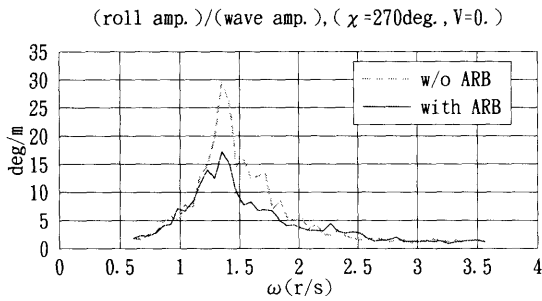
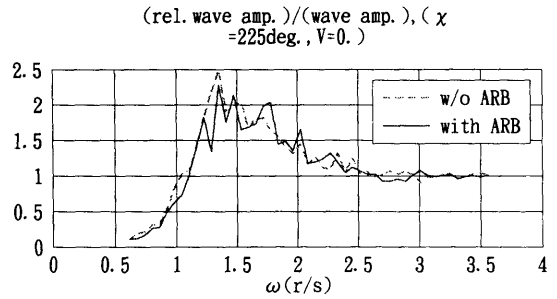
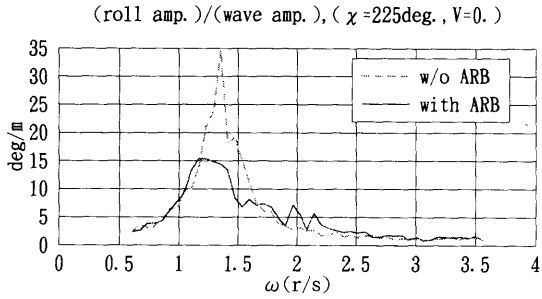
第13図 縦揺れの振幅応答関数 (船首部波振幅比)

第14図 横揺れの振幅応答関数 (船首部波傾斜比)

な方法で求めた船首部海面変位を基にしている。各項目の振幅応答関数を第12図から第18図に示す。縦揺れと横揺れの応答関数は波傾斜振幅と波振幅の両方に対応する形で示した。計算精度を考慮して各項目とも入射波がある程度のパワーを持っている周波数領域 ( $\omega=0.6135\sim 3.559\text{r/s}$ ) でのみ振幅応答関数を示した。平滑化等の処理はおこなっていない。

第12図と第13図の縦揺れの結果を見ると  $\omega=2\text{r/s}$  前後の範囲で  $\chi=225\text{deg.}$  の場合に減揺翼を展張した

状態が収納した状態より振幅応答が大きくなっているが、それ以外の周波数領域では両者にほとんど差は見られない。波傾斜に対する振幅応答関数の周波数の小さい領域を見ると、本来は  $\chi=270\text{deg.}$  の状態が1に収束するのが最も遅いと考えられるが、 $\chi=225\text{deg.}$  の状態が他の2状態より1に収束するのが遅いようである。これは、実際の実験時の波との出会い角度は図に記した目標値よりも  $\chi=225\text{deg.}$  の場合は横波状態 ( $\chi=270\text{deg.}$ ) に近く、同様に目標  $\chi=270\text{deg.}$  の状



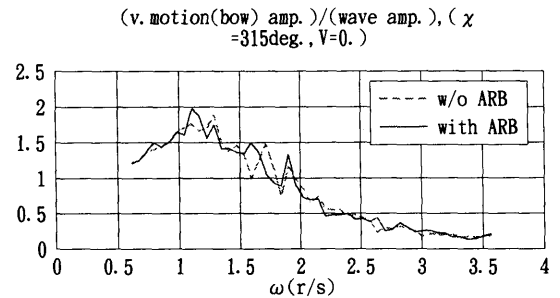
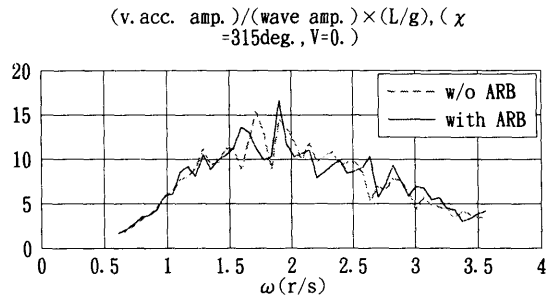
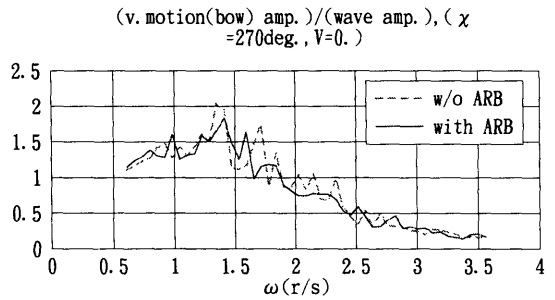
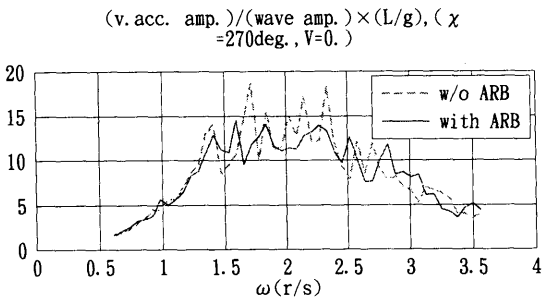
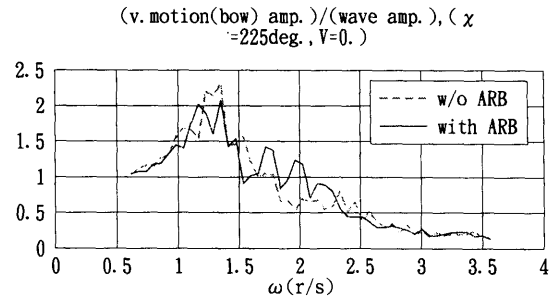
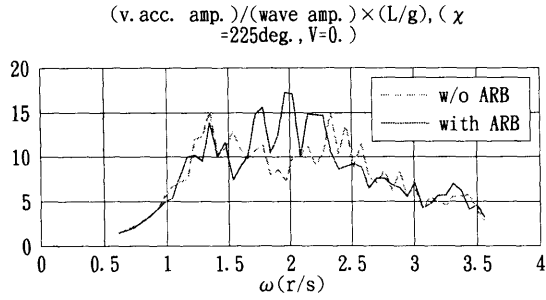
第15図 横揺れの振幅応答関数 (船首部波振幅比)

第16図 船首部相対水位の振幅応答関数

態は実際は  $\chi = 315\text{deg.}$  に、目標  $\chi = 315\text{deg.}$  の状態は実際は  $\chi = 360\text{deg.}$  に近い状態であったためと思われる。これは前述の著者らの観測と一致する。あるいは目視で観測されにくい長波長の波が目視で卓越していた波よりも船体後方から入射していたためとも考えられる。

減揺翼の効果が最も現れているのは明かに第14図と第15図の横揺れの振幅応答関数である。ほぼ  $\omega = 1.2\text{r/s}$  (周期5.2秒) から  $\omega = 1.7\text{r/s}$  (周期3.7秒) の周波

数範囲において、減揺翼が横揺れを概ね半分程度に抑えていることがわかる。その他の周波数範囲では減揺翼の効果は見られないが、逆に減揺翼が横揺れを大きくしている周波数範囲もほとんど見られない。減揺翼は横揺れが大きくなる状態で良くその効果が現れていると言ってよいと思われる。なお、波傾斜に対する横揺れ振幅応答関数の周波数の小さい範囲での挙動からも実際の波との出会い角が目標より追い波状態に近かったことがうかがえる。



第17図 船首上下加速度の振幅応答関数

第18図 船首上下変位の振幅応答関数

第16図船首部相対水位の振幅応答関数には減揺翼の有無による有意な差は見られない。これは船首先端部分での相対水位が横揺れの影響を比較的受けにくいためであるためと考えられる。

第17図と第18図の船首上下加速度と船首上下変位の $\chi = 225\text{deg.}$ の振幅応答関数からは縦揺れの場合と同様に $\omega = 2\text{ r/s}$ 付近で減揺翼のある場合の方が応答がやや大きくなる傾向が見られるほかは、ほとんど有意な差は見られない結果となっている。

### 3.3 統計解析

計測した4項目に推定した船首上下変位と船首部海面変位の2項目をあわせた6項目の時系列データについて統計解析をおこなった。解析プログラムの制約のため、1計測を3つの部分に分けて解析をおこなった。この際、1計測1項目12400個余りのデータから3ブロックの各4096個のデータを取り出し、さらに各ブロックのデータを間引いてサンプリング5ヘルツ、2048個のデータとして解析をおこなった。統計解析の前処

理として全項目の2048個毎のデータについて5点の移動平均による数値フィルターをかけた。また、ピークの検出については9点の平滑化微分を用いた。これら移動平均と平滑化微分の点数については時系列波形を実際に見て決めたものである。

結果を実験状態毎にまとめて第5表と第6表に示す。1計測を3つの部分に分けて統計解析をおこなったため、ピーク間周期 (peak period) とゼロクロス周期 (z. cross period) および両振幅 (double amplitude) の統計値 (mean, 1/3 highest mean, 1/10 highest

第5表 統計解析結果 (減揺翼収納状態)

statistical information			$\chi = 225\text{deg.}, V=0, \text{w/o ARB}$			
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	1.48E-03	-2.05E-03	1.06E-03	3.10E-04	-2.54E-04	8.01E-04
root mean square	3.30E-01	1.01E+00	1.53E-01	2.88E-01	1.67E-01	1.58E-01
standard dev.	3.30E-01	1.01E+00	1.53E-01	2.88E-01	1.67E-01	1.58E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no.	569	528	755	789	531	722
peak period(s)	4.3	4.6	3.2	3.1	4.6	3.4
z. cross no.	461	487	690	726	428	553
z. cross period(s)	5.2	5.0	3.5	3.4	5.6	4.4
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	455	481	684	720	422	547
mean	8.24E-01	2.50E+00	3.74E-01	7.21E-01	4.06E-01	3.60E-01
1/3 highest mean	1.24E+00	3.83E+00	5.57E-01	1.08E+00	6.31E-01	5.60E-01
1/10 highest mean	1.52E+00	4.91E+00	6.71E-01	1.32E+00	7.72E-01	6.97E-01
max.	1.86E+00	6.57E+00	9.81E-01	1.92E+00	9.57E-01	9.81E-01
statistical information			$\chi = 270\text{deg.}, V=0, \text{w/o ARB}$			
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	-1.26E-04	5.55E-03	1.31E-03	9.29E-04	-3.45E-04	9.65E-04
root mean square	3.26E-01	9.82E-01	1.50E-01	3.11E-01	1.69E-01	1.61E-01
standard dev.	3.26E-01	9.82E-01	1.50E-01	3.11E-01	1.69E-01	1.61E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no.	587	556	776	798	555	705
peak period(s)	4.2	4.4	3.1	3.1	4.4	3.5
z. cross no.	477	533	629	759	424	504
z. cross period(s)	5.1	4.6	3.9	3.2	5.7	4.8
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	471	527	623	753	418	498
mean	7.73E-01	2.44E+00	3.64E-01	7.68E-01	4.15E-01	3.65E-01
1/3 highest mean	1.23E+00	3.72E+00	5.32E-01	1.18E+00	6.36E-01	5.59E-01
1/10 highest mean	1.56E+00	4.79E+00	6.49E-01	1.49E+00	7.99E-01	6.77E-01
max.	2.12E+00	6.56E+00	8.50E-01	1.99E+00	1.05E+00	8.05E-01
statistical information			$\chi = 315\text{deg.}, V=0, \text{w/o ARB}$			
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	-5.89E-04	4.49E-04	2.17E-04	1.36E-04	4.35E-05	2.61E-04
root mean square	4.49E-01	8.28E-01	1.58E-01	2.78E-01	2.16E-01	1.67E-01
standard dev.	4.49E-01	8.28E-01	1.58E-01	2.78E-01	2.16E-01	1.67E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no.	487	557	683	738	457	656
peak period(s)	5.0	4.4	3.6	3.3	5.3	3.7
z. cross no.	402	522	610	651	388	494
z. cross period(s)	6.0	4.7	4.0	3.7	6.3	4.9
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	396	516	604	645	382	488
mean	1.07E+00	2.08E+00	3.90E-01	6.98E-01	5.16E-01	3.92E-01
1/3 highest mean	1.75E+00	3.19E+00	5.95E-01	1.07E+00	8.09E-01	6.30E-01
1/10 highest mean	2.19E+00	3.95E+00	7.16E-01	1.31E+00	1.03E+00	8.13E-01
max.	2.93E+00	5.74E+00	9.18E-01	1.72E+00	1.29E+00	1.09E+00

mean, max.)は3つの解析結果の平均を記した。

時系列データの統計解析結果の標準偏差の値はスペクトル解析結果の $\sqrt{m0}$ とほぼ近い値を示している。統計解析結果とスペクトル解析結果を比較すると、本実験の場合、ゼロクロス周期はスペクトル解析の $t02$

よりもむしろ $t01$ に近い値を示している。また、ピーク間周期は $t24$ より大きな値を示している。この理由としては、本統計解析のピーク検出感度に対応する周波数よりも高周波側までスペクトル解析の積分範囲を取ったため、あるいは現象自体が十分狭帯域ではない

第6表 統計解析結果 (減揺翼展張状態)

statistical information		$\chi=225\text{deg.}, V=0. \text{ with ARB}$				
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	1.07E-03	6.91E-03	-5.67E-04	3.37E-03	1.12E-03	5.47E-04
root mean square	3.63E-01	9.10E-01	1.37E-01	2.56E-01	1.86E-01	1.72E-01
standard dev.	3.63E-01	9.10E-01	1.37E-01	2.56E-01	1.86E-01	1.72E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no	535	514	727	752	480	631
peak period(s)	4.6	4.7	3.4	3.3	5.1	3.9
z. cross no.	450	451	605	677	387	465
z. cross period(s)	5.4	5.4	4.0	3.6	6.3	5.3
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	444	445	599	671	381	459
mean	8.86E-01	2.25E+00	3.35E-01	6.35E-01	4.54E-01	3.88E-01
1/3 highest mean	1.36E+00	3.55E+00	5.02E-01	9.71E-01	7.21E-01	6.17E-01
1/10 highest mean	1.69E+00	4.46E+00	6.31E-01	1.21E+00	8.74E-01	7.73E-01
max.	2.25E+00	5.86E+00	8.05E-01	1.61E+00	1.10E+00	1.02E+00
statistical information						
$\chi=270\text{deg.}, V=0. \text{ with ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	-1.57E-03	-1.55E-03	5.31E-04	-2.43E-04	-2.04E-04	3.28E-04
root mean square	4.03E-01	8.66E-01	1.43E-01	2.75E-01	1.88E-01	1.56E-01
standard dev.	4.03E-01	8.66E-01	1.43E-01	2.75E-01	1.88E-01	1.56E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no	516	535	710	780	492	649
peak period(s)	4.7	4.5	3.4	3.1	5.0	3.8
z. cross no.	409	490	649	721	389	480
z. cross period(s)	6.0	4.9	3.7	3.4	6.2	5.1
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	403	484	643	715	383	474
mean	9.93E-01	2.05E+00	3.42E-01	6.64E-01	4.70E-01	3.77E-01
1/3 highest mean	1.56E+00	3.29E+00	5.24E-01	1.03E+00	7.15E-01	5.75E-01
1/10 highest mean	1.96E+00	4.39E+00	6.57E-01	1.27E+00	8.95E-01	7.22E-01
max.	3.08E+00	6.38E+00	1.02E+00	1.82E+00	1.36E+00	9.48E-01
statistical information						
$\chi=315\text{deg.}, V=0. \text{ with ARB}$						
item	pitch	roll	r. wave	v. acc.	v. motion	a. wave
unit	deg.	deg.	m	m/s <sup>2</sup>	m	m
raw data statistics.....						
mean	5.69E-04	2.62E-03	-8.56E-04	1.16E-03	2.29E-04	-6.26E-04
root mean square	4.40E-01	6.90E-01	1.78E-01	2.74E-01	1.99E-01	1.62E-01
standard dev.	4.40E-01	6.90E-01	1.78E-01	2.74E-01	1.99E-01	1.62E-01
peaks and zero crosses.....						
peak no	504	546	654	718	477	647
peak period(s)	4.8	4.5	3.7	3.4	5.1	3.8
z. cross no.	399	503	560	649	396	490
z. cross period(s)	6.1	4.8	4.3	3.7	6.1	4.9
double amplitude statistics.....						
double amp. no.	393	497	554	643	390	484
mean	1.10E+00	1.68E+00	4.28E-01	6.76E-01	4.89E-01	3.62E-01
1/3 highest mean	1.73E+00	2.68E+00	6.34E-01	1.01E+00	7.73E-01	5.81E-01
1/10 highest mean	2.21E+00	3.46E+00	7.80E-01	1.26E+00	9.90E-01	7.29E-01
max.	3.06E+00	5.98E+00	1.07E+00	1.72E+00	1.33E+00	9.41E-01

ことが考えられる。

目視波高は1/3最大両振幅(1/3 highest mean)に対応すると考えられる。比較的穏やかな海象であったため、今回の一連の計測において縦揺れと横揺れの1/3最大両振幅は、平均でそれぞれ約1.5deg., 約3.4deg.であったことがわかる。特に、船首部相対水位と船首上下加速度から推定した海面変位の1/3最大波高は平均で58.7cmとなっている。この値は乗員の目視波高「50cmくらい」よりもやや大きめではあるが、船と波との干渉を考えると船首部での海面変位自体はほぼ正しくとらえており今回の海面変位の推定法が妥当であることを示していると思われる。

#### 4. 横揺れに対する減揺翼の効果

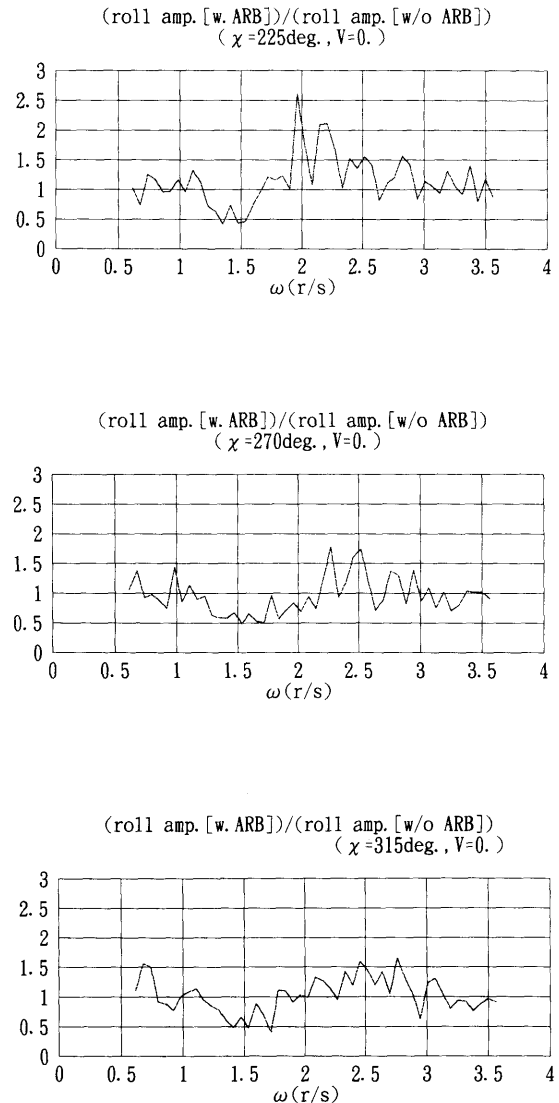
各種船体応答の振幅応答関数を求めたことによって減揺翼の効果が横揺れ応答に最も大きく表れることが明らかとなった。振幅応答関数の図からも減揺翼の効果を定量的に把握できると考えられるが、ここでは横揺れ応答に絞ってさらにその効果を調べて直感的にも把握できる指標にまとめることとする。このような指標は減揺翼を装備した船の乗員等にとって有用なものになるとと思われる。

##### 4.1 横揺れ振幅の減少率の周波数影響

第14図あるいは第15図に示した横揺れ振幅応答関数から減揺翼展張状態と収納状態の横揺れ振幅の比を求めたものを第19図に示す。この図から減揺翼を展張することによって横揺れ振幅が収納時よりどの程度減少したかを周波数成分毎に知ることができる。1より小さな値を示す周波数成分は減揺翼を展張することによって横揺れが減少したことを表わし、逆に1より大きな場合は揺れが増加したことを表わす。第19図において $\omega = 2 \sim 3 \text{ r/s}$ の周波数範囲で1よりも大きな値を示す部分があるが、第6、14、15図からわかるように、この周波数範囲では減揺翼の展張、収納状態に関わらず横揺れ振幅はかなり小さいため、この範囲での減揺翼展張による影響は問題とならないと言ってよいと考えられる。

第19図で注目すべきは横揺れ振幅が大きくなる $\omega = 1.2 \sim 1.7 \text{ r/s}$ の周波数範囲である。これはちょうど減揺翼収納時の横揺れ固有周波数( $\omega = 1.43 \text{ r/s}$ )を含む周波数範囲である。この周波数範囲においては減揺翼を展張することによって横揺れ振幅が減揺翼収納時の半分程度になっていることがわかる。これをより明確

にするために第14、15図に示す横揺れ振幅応答関数の減揺翼収納時の振幅応答が最大となる周波数での振幅比を第7表にまとめた。本船の横揺れ振幅応答が最大となる周波数成分は減揺翼を展張することによって約50%に減少することがわかる。



第19図 横揺れ振幅比：(展張状態)/(収納状態)

第7表 減揺翼展張時と収納時の横揺れ振幅比  
(横揺れ周波数:減揺翼収納時に最大横揺れ応答を示す周波数)

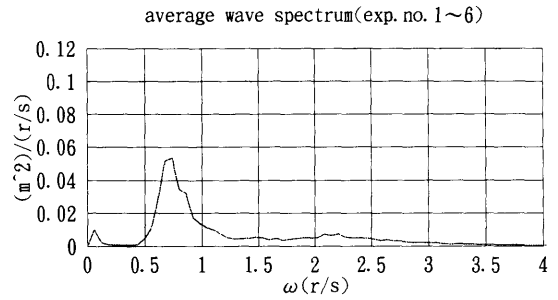
波との出会い角	横揺れ振幅比 (展張状態)/(収納状態)
225deg.	0.418 [ $\omega=1.35\text{r/s}$ ]
270deg.	0.586 [ $\omega=1.35\text{r/s}$ ]
315deg.	0.486 [ $\omega=1.41\text{r/s}$ ]
(平均)	0.497

4.2 横揺れの標準偏差の減少率

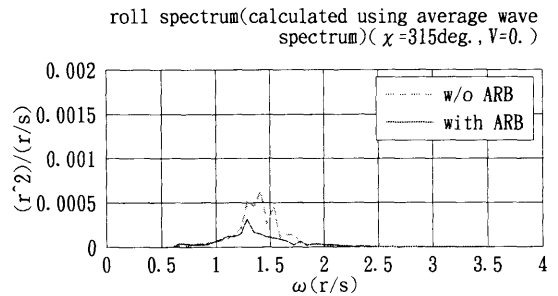
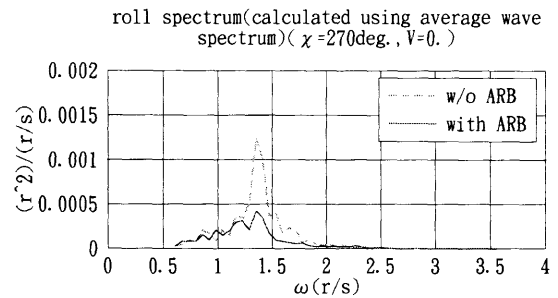
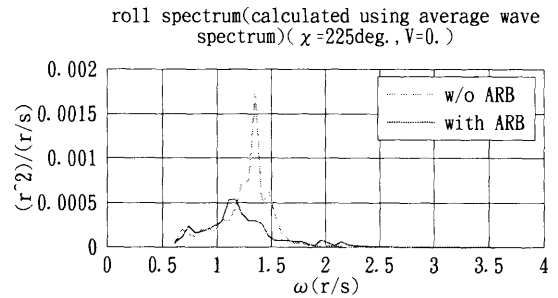
第19図と第7表は周波数成分毎の横揺れ振幅減少率を見るものであったが、実際の海上での現象は不規則であるため乗員等にとってはこのままの形では減揺翼の効果を表わす指標としては十分ではないと思われる。そこで、実際の海象を想定して横揺れの標準偏差の減少率で減揺翼の効果を示すこととする。パワースペクトルの解析結果に表れていたような比較的狭帯域の応答である横揺れの標準偏差の減少率は有義振幅の減少率にほぼ等しいと考えられる。

まず、実際の海象をあらわす海面変位のパワースペクトルとして今回の実験で求めた海面変位のパワースペクトルの平均値を用いることとした。第10図に示した実験番号1番から6番までの船首部海面変位のパワースペクトルの平均値を第20図に示す。この海面変位のパワースペクトルと第15図の横揺れの振幅応答関数から横揺れのパワースペクトルを計算した結果を第21図に示す。この横揺れのパワースペクトルは入力としての海面変位のパワースペクトルが同一であるため、実際に計測した横揺れのパワースペクトル(第6図)とは異なり、それぞれを直接定量的に比較することができる。

次にこれらの横揺れのパワースペクトルから横揺れの標準偏差を求め、減揺翼展張時と収納時の比としてまとめたものが第8表である。標準偏差を求める際のパワースペクトルの積分範囲は振幅応答関数の表示範囲と同じ $\omega=0.6135\sim 3.559\text{r/s}$ である。減揺翼展張状態の横揺れの標準偏差が収納時のその平均76%となっていることがわかる。したがって、横揺れの有義振幅もこの程度減少すると考えてよいと思われる。



第20図 海面変位の平均パワースペクトル



第21図 海面変位の平均パワースペクトルから求めた横揺れのパワースペクトル



第8表 減揺翼展張時と収納時の標準偏差比  
(海面変位の平均パワースペクトルに対する横揺れの  
パワースペクトル)

波との出会い角	標準偏差比 (展張状態)/(収納状態)
225deg.	0.797
270deg.	0.737
315deg.	0.745
(平均)	0.760

## 5. 結言

減揺翼の効果に関する今回の実船実験から得られた知見を以下にまとめる。

- (1)本供試船の装備している減揺翼は停船状態の横揺れ固有周期付近の横揺れ振幅を減少させる効果があることが確認された。特に本船減揺翼収納時の横揺れ最大振幅応答に対応する周波数成分は約50%まで減少することが明かとなった。また、実際の海上における横揺れの標準偏差あるいは有義振幅についても減揺翼を展張することによって約76%に減少することが明かとなった。なお、横揺れ固有周期付近以外の周期の横揺れ振幅については減揺翼の効果は見られなかったものの、逆に揺れを大きくするという逆効果もほとんど見られなかった。
- (2)減揺翼の他の船体応答への影響については、波との目標出会い角度225deg.(推定約270deg.)の状態の縦揺れと船首上下運動に $\omega = 2\pi/s$ (周期3.1秒)付近の応答を若干大きくするという傾向が見られたのみで、船首部相対水位や他の状態の応答にほとんど有意な差は見られなかった。
- (3)今回の実験データの解析では、船首上下加速度と船首部相対水位の時系列データからFFT法を用いて船

首上下変位と船首部海面変位の時系列データを推定する手法を用いた。個々の船体応答のパワースペクトルはそれぞれ異なった形状、特性を持つものであったが、船首部海面変位を基準とした各船体応答の振幅応答関数は実験状態毎に良いまとまりを示した。また、特に船首部海面変位の統計解析結果の1/3最大波高は実験当日の乗員の目視観測波高とほぼ一致した。

以上、これまで乗員が体験的に感じていた減揺翼の効果を実験では定量的に確認することができた。ただ、今回の実船実験時の海象は比較的穏やかであったため大波高時の減揺翼の効果については明かではなく、本実験の解析結果の解釈にはこの点で制約があることに注意すべきである。しかし、本報告で示した解析結果はこの本供試船の減揺翼の実際的な効果を期待させるものであると思われる。

最後に、本実船実験の遂行にあたりご協力を頂いた墨田川造船(株)平山万太郎取締役技師長をはじめとする関係者の方々ならびに超音波式水位計の使用に便宜をはかっていただいた三井造船昭島研究所の関係者の方々には心より感謝の意を表わします。

## 参考文献

- [1]第125研究部会：超高速コンテナ船の耐航性に関する研究報告書；社団法人日本造船研究協会（1974.3.），pp.65-161
- [2]大津皓平ほか：実船試験および水槽試験；不規則現象論，海文堂（初版）、pp.263-310
- [3]竹沢誠二，梶田悦司：実船試験結果と予測値の対応；日本造船学会，第2回耐航性に関するシンポジウム（1977.12）、pp.181-198
- [4]高石敬史ほか：船載式出会う波浪計の性能について；船舶技術研究所報告，第13巻第4号（1976.7.）、pp.1-16