

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 466 Sept. 1983

調査観測船“おおとり”動揺試験報告

秋	園	純	一
中	島	忠	男
安	立	重	昭
岩	崎	峯	夫

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 試験船"おおとり"の概要	4
2.1 船体諸元	4
2.2 搭載機器諸元	4
3. 試験目的および試験条件	5
3.1 試験目的と試験方法	5
3.2 試験海域および海象条件	6
4. 試験結果	6
4.1 ステップ応答の測定結果	6
4.2 船速と動揺の関係の測定結果	9
4.3 航行時の推進力の変化による動揺の測定結果	18
5. 考 察	25
5.1 周期波に対する応答	25
5.2 単一波に対する応答	26
5.3 フィンの効果	26
6. 結 論	27
7. あとがき	27
参考文献	27

A Field Test on the Motion of the Investigation and Observation Ship "OOTORI"

Junichi AKIZONO*
Tadao NAKAJIMA**
Shigeaki ADACHI**
Mineo IWASAKI***

Synopsis

A field test of ship motion was carried out on the investigation and observation ship "OOTORI", of which ship type is Semi-submerged catamaran.

The step response, the relationship between ship velocity and motion, and the pitching caused by rapid change of propelling force were measured.

The test results are as follows.

The equation of motion was examined to show that the coefficient of viscosity is much smaller than the moment of inertia of the area and the restoring moment.

The proper period of pitching is 8.73 second and that of rolling is 13.5 second, which are rather longer than those of ordinal ship type.

The stem trim angle, the fluctuation of motion angle, and the difference between the motion on head sea and that on following sea tend to be maximum when ship velocity is between 12-14 knot.

The rapid change of propelling force caused the change of pitching angle first and then ship velocity started to change.

Theoretical response to periodic wave and single wave was made clear.

Calculation shows that trim angle can be kept at about 0 degree if the angle of front fins are changed properly.

* Member of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division
** Senior Research Engineer, Machinery Division
*** Chief of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division

調査観測船“おとり”動揺試験報告

秋 園 純 一*
中 島 忠 男**
安 立 重 昭***
岩 崎 峯 夫****

要 旨

昭和57年1月27～28日、神戸港において実施した半没水型双胴調査観測船“おとり”の動揺試験結果について報告する。今回の試験では、新しい船形である半没水型双胴船であることを考慮して、従来から行っている船速と動揺の関係の測定以外に、船体のステップ応答の測定と、航行時の推進力の変化による動揺の測定を行った。

ステップ応答の測定結果から船体の運動方程式を求め、慣性2次モーメント、復原モーメントに比べて粘性係数が小さいことを確認した。また、固有周期は一般の船形に比べて長く、ピッチングで8.73秒、ローリングで13.5秒であった。

船速と動揺の関係の測定結果から、船速が12～14ノットの間で、船首トリム角、動揺角の変動、および、向波状態と追波状態による差が最大となることがわかった。

航行中の推進力の変化による動揺の測定結果から、推進力の変化により、まずピッチング角が変化し、その後、船速が変化する傾向があることがわかった。

つぎに、動揺試験で得られた値を用いて、周期波と単一波に対する船体の応答の理論計算を行った。その結果、周期波と同調した場合は“おとり”は一般の船形に比べて動揺振幅がかなり大きくなること、また、単一波の場合は同調周期の単一波だけではなく同調周期より長い周期の単一波にも注意する必要があることを示した。

さらに、“おとり”の前部フィンに±8度の範囲で変化させることにより船速が変化してもトリム角をほぼ0度に保つことができることを計算で明らかにした。

以上のように、半没水型双胴船である“おとり”の動揺特性を明らかにすることができたので今後の運航や新造船の設計に役立つものと考えられる。

1. まえがき

港湾工事の計画や調査のための測量や観測業務、あるいは、油回収やゴミ回収等の海域整備業務を行う目的で各種の小型作業船が建造されてきている。そして、その業務の高精度、広範囲化にともなって高速かつ安定性の高い船が求められ、船形もその目的に対して最適なものが選択されてきた。

当所では、これらの小型作業船の動揺特性を調べるため、実船試験を行ってきた。昭和47年には第三港湾建設局所属の双胴船“くろしお”と単胴船“はやて”、昭和

48年には第四港湾建設局所属の双胴船“すおう”、昭和50年には第三港湾建設局所属の双胴船“うずしお”の実船試験を行い、動揺特性を明らかにしてきた。^{1～3)}

今回の試験では、第三港湾建設局所属の調査観測船“おとり”を試験船として選択した。この船は、第四港湾建設局所属の“ことごき”と並んで、港湾局にはじめて配備された半没水型双胴船である。この船形は原理的に高耐波性を有し波浪抵抗の小さいことが認められているが、実船における船体の動揺特性の報告⁴⁾はほとんどないのが現状である。

そこで、今までにない新しい船形である半没水型双胴

* 機材部 作業船研究室
** 機材部 主任研究官(水力掘削担当)
*** 機材部 主任研究官(汚濁防止担当)
**** 機材部 作業船研究室長

船の動揺特性を実船で検証するため、一般的な動揺試験以外に、この船形に固有の特性を考慮して、停船時および航行時における外力に対する船体の応答の測定を行った。

本報告は以上の目的に沿って“おおとり”の動揺試験結果をまとめたものである。

2. 試験船“おおとり”の概要

調査観測船“おおとり”は、第三港湾建設局管内の海域のうち主として大阪湾および播磨灘等の海域において、水質および底質等の調査観測作業に従事するために建造

された。一般配置図を図-1に示す。船体材質は鋼および耐食アルミニウム合金で、船形は半没水型双胴船(Semi-Submerged Catamaran)である。

この船形は、水中にあるローハルと水面上の上部構造物をストラットで連結した形状となっており、同一排水量の一般の船形に比べて水線面積が非常に小さい。このため、造波抵抗が小さいので高速が得やすく、また、波浪による外力を受けにくく固有周期が長いので波浪による動揺が小さいという特徴がある。その反面、喫水の変化に対する復原力が小さいため、波浪以外の外力による動揺は大きいという特徴も有している。

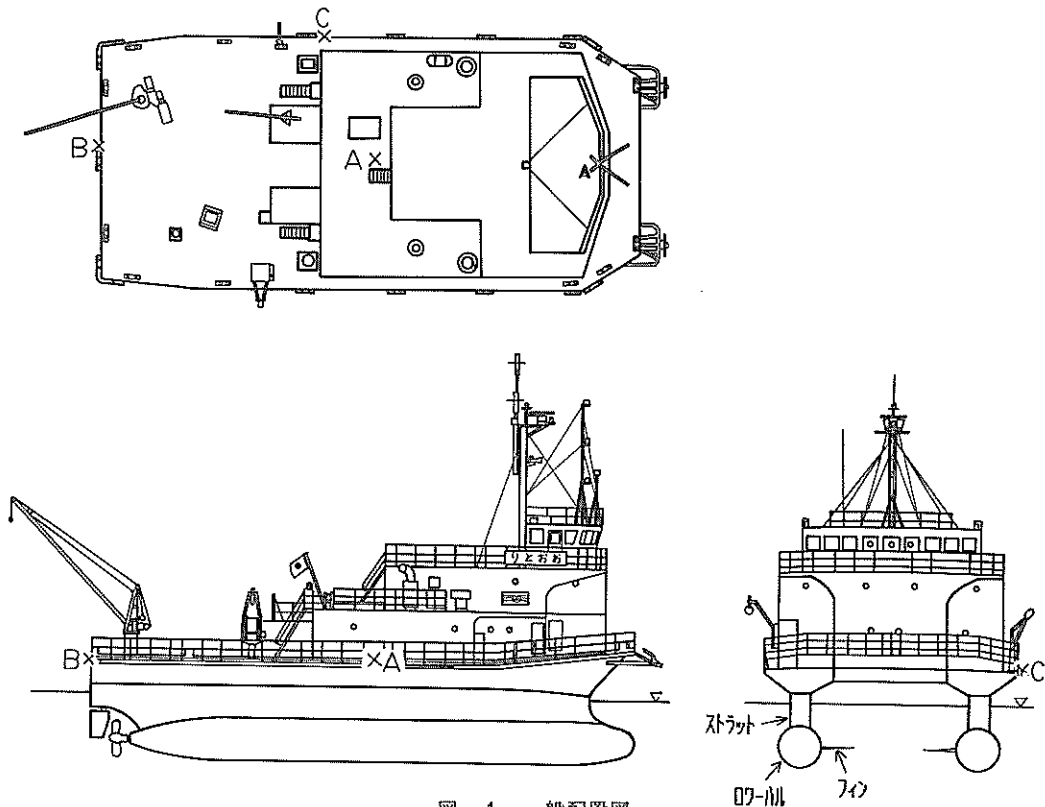


図-1 一般配置図

2.1 船体諸元

航行区域	沿海
全長	27 m
全幅	12.5 m
深さ	5.1 m
ローハル最大直径	2.26 m
ローハル中心間距離	8.8 m
総トン数	251.49トン
満載喫水	3.4 m
最大速力	20.61ノット

定員	20名
主機関	V型単動4サイクルディーゼル機関 1,900 PS 1,475 rpm 2台
推進装置	可変ピッチプロペラ

2.2 搭載機器諸元

気象観測装置	(気温計, 気圧計, 日射計, 風向風速計)
海象観測装置	(流向流速計)
水質調査装置	(総合水質測定機, 濁度計, 水質自動分析機)
底質調査装置	(酸化還元電位計)
試料採取装置	(採水器, 採泥器)

船位測定装置（マイクロ波船位測定装置，
 ロランC受信装置）
 深度測定およびヘドロ探査装置（超音波式）
 データ処理装置

3. 試験目的および試験条件

3.1 試験目的と試験方法

2.で述べたように“おおとり”は半没水型双胴船であるため、その動揺特性が一般の船形と大きく異なっているものと考えられる。そこで、“おおとり”に固有の特性を調べるため、従来行っていた船速と動揺の関係の測定以外に、ステップ応答の測定と航行時の推進力の変化による動揺の測定を行うことにした。これらの測定はピッチングを主とした。

測定に使用した動揺計は第三港湾建設局が所有するサーボ式動揺計である。その諸元を表-1に示す。測定はすべて応答速度0.1秒/10度、記録紙送り速度5mm/sで行った。測定レンジは表-2~4に示す測定データ一覧表中に表示してある。動揺計の設置場所はメタセンタにもっとも近い位置として、図-1のA点とした。

動揺計によって記録された波形は分解能0.1mmのカーブリーダーで読みとって解析した。

表-1 動揺計諸元

動揺センサ	サーボ傾斜計
有効電気角	90°±2°
機械角	92°~96°
精 度	±11' (±0.18°)
応 答 速 度	10°の角度に対して 0.1秒~2秒に可変
記 録 紙 幅	±50mm(100mm)
測 定 レ ン ジ	±2.5° / ±50mm ±5° / ±50mm ±10° / ±50mm
記録紙送り速度	1mm/s および 5mm/s

(1) ステップ応答の測定（試験A）

この試験は、停船している船体に外力をステップ入力の形で加え、それによる動揺角を測定することにより、船体の運動方程式の定数を求めるものである。

具体的には、船体から重量物をロープでつるすことにより船体に外力を加えておき、ロープを切断することにより外力を除荷して、外力の変化により動揺を生じさせその減衰の様子を測定するという方法で行った。

測定はピッチングとローリングについて行い、ピッチングの場合は船尾、ローリングの場合は左舷に重量物をつるした。その位置を図-1のB、C点で示す。

B点はほぼ船体中心線上にあるが、C点はボラードの位置の関係からメタセンタより船尾側になった。このため、ローリングの測定にはピッチングの影響があるものと考えられる。

試験に用いた重量物は公称重量3tfのコンクリートブロックである。船体形状と飛沫防止の関係上海中につるした。

測定は動揺が充分減衰するまでピッチングは4分間、ローリングは6分以上行った。

(2) 船速と動揺の関係の測定（試験B）

この測定は、一定船速で航行している場合の船体動揺を数種類の船速について測定して、船速が船体動揺に与える影響を調べるものである。また、向波状態と追波状態による動揺特性の違いも調べることにした。

具体的には、停船状態および機関出力が1/4, 2/4, 3/4, 4/4の状態の5種類の船速について、それぞれ同一海域を往復して、向波状態と追波状態におけるピッチングとローリングの測定を行った。

測定に用いた動揺計は同時に一方の動揺しか測定できないため、ピッチングとローリングを別々にそれぞれ3分間ずつ測定した。

船速はロランC受信装置で測定した。電波断でロランC受信装置が使用不能のときはレーダによる値を用いた。

(3) 航行時の推進力の変化による動揺の測定（試験C）

(1)で述べたステップ応答の測定は、停船状態において外力の変化に対する船体の応答を調べるものであった。それに対して、この測定は一定船速で航行中に船体に外力を推進力の変化として与え、それによる動揺を調べるものである。

具体的には、一定船速で航行中に機関出力とプロペラのピッチ角のどちらか一方、あるいは、両方を変化させることにより、推進力を変化させて加速または減速を行い、このとき生ずる船速の変化とピッチングを測定した。

この試験では、外力の方向はピッチングを生じさせる方向であるのでローリングは測定しなかった。

船速は、17ノットと13ノット、17ノットと0ノット、13ノットと0ノット、10ノットと-5ノットの間で、それぞれ加速、減速を行って変化させることにした。

測定開始時と測定終了時の船速はロランC受信装置で測定し、電波断の場合はレーダによる値を用いた。測定中の船速はマイクロ波船位測定装置で得た船位から求めた。

3.2 試験海域および海象条件

試験海域は、ステップ応答の測定のみ第三港湾建設局神戸港工事事務所内の停泊地、他は神戸港沖の海域である。図-2に試験海域を示す。

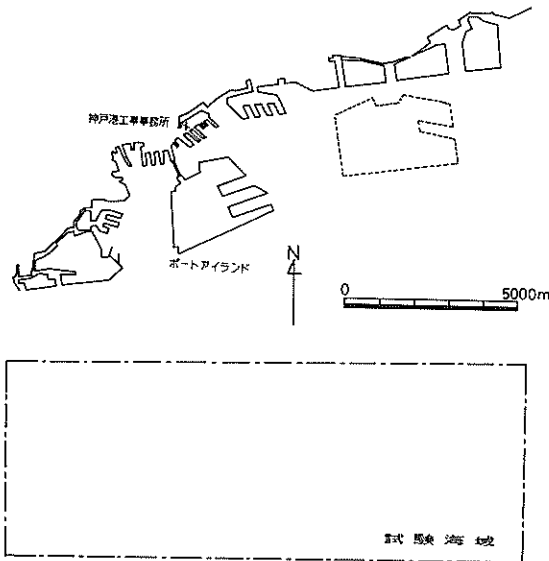


図-2 試験海域

海象条件は表-2~4に示す測定データ一覧表中に示す。風向、風速は“おおとり”の計器を使用して測定した船体に対する相対値である。また、波の向きは乗組員の目視、周期は10個の波が船体を横切る時間を測定して求めた船体に対する相対値であり、波高と波長は乗組員の目視による絶対値である。ステップ応答の測定の場合は、停泊地内の静穏な海域であるため、海象条件は測定しなかった。

4. 試験結果

各試験番号ごとの測定データの一覧表を表-2~4，“おおとり”の状態を表-5に示す。以後、動揺角は出港時の“おおとり”の状態を0位置とし、ピッチング角

は船首の下がる方向を正、ローリング角は左舷が下がる方向を正として表示してある。

4.1 ステップ応答の測定結果

ステップ応答の測定データを表-2に示す。測定は動揺計の紙送りが不調であった試験番号A-1を除いて、ピッチング、ローリングとも各2回ずつ行った。動揺角の測定例を図-3,4に示す。図-3はピッチングで試験番号はA-2、図-4はローリングで試験番号はA-5である。

船体動揺の運動方程式は、簡単のため線形であるとする、つぎのようになる。

$$L \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + C \frac{\partial \theta}{\partial t} + K \theta = M \quad (1)$$

ここで、 L は慣性2次モーメント、 C は粘性係数、 K は単位動揺角によって生じる復原モーメント、 M は外力として作用するモーメント、 θ は動揺角、 t は時間である。

船体からつるしたコンクリートブロックの寸法を測定した結果、その体積は 1.22m^3 であった。コンクリートブロックの比重を一般的なコンクリートとして2.65、海水の比重を1.03とすると、このコンクリートブロックの空中重量は3.23tf、海水中重量は1.98tfと計算される。

(1) ピッチング

表-5によるとステップ応答測定時の“おおとり”の喫水は満載状態の場合に近い。そこで、満載状態として浮面心から船尾重量物つり下げ位置までの距離を完成図書で調べると12.3mであった。

重量物を船尾につり下げたことによるトリム角の変化は、試験番号A-2の場合1.18度であった。以上の値から K を計算すると、

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{1.98 \times 12.3}{1.18} = 20.6 \text{ (tf} \cdot \text{m/deg)} \quad (2)$$

となる。

今回の試験に無関係に完成図書に記載されている値だけから K の値を求めてみると、満載状態においてM.T.C

表-2 ステップ応答の測定データ(試験A)

1982. 1. 28									
試験番号	動揺の方向	開始時刻	動揺計		重量物つり下げ時の喫水				備考
			紙送り速度	測定レンジ	前左	前右	後左	後右	
A-1	ピッチング	9:12	5mm/s	±5°	3.10m	3.15m	3.70m	3.80m	紙送り不調
A-2	ピッチング	9:23	5 #	±5°	3.00	3.00	3.70	3.70	
A-3	ピッチング	9:37	5 #	±5°	#	#	#	#	
A-4	ローリング	9:59	5 #	±10°	3.60	3.00	3.80	3.10	
A-5	ローリング	10:22	5 #	±10°	#	#	#	#	

表-3 船速と動揺の関係の測定データ(試験B)

試験 番号	設定馬力 任意の刻	測定 時期	時刻	船速 (ノット)	方位	機関回転数		燃料ポンプ流量		プロペラピッチ角		冷却水温度		排気温度		風		波				備 考
						左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	風向	風速	周期	波長	波高	向き	
B-1	0/4	始	13:13	0.4	66°	800rpm	800rpm	6	6	-2°	-2°	74°C	79°C	205°C	200°C	L165	10m/s	2.5秒	3m	40~50cm	追波	
			終	13:20	0.3	74	800	800	11	13.5	-3	-3	74	79	170	170	R175	9	次	次	次	次
B-2	0/4	始	13:23	0.1	267	790	790	13	13.5	0	0	75	79	170	175	0	7	3.1	3	50~70	向波	
			終	13:30	0.2	267	790	790	6	6	0	0	74	78	160	160	9	7	3.0	3	40~70	向波
B-3	4/4	始	13:46	17.7	269	1,430	1,390	20	20.5	18	18	77	81	385	395	L15	10	1.1	3	30~50	向波	
			終	13:55	17.5	270	1,430	1,390	20	20.5	18	18	78	81	365	400	0	13	1.0	3	50~70	向波
B-4	4/4	始	14:15	16.2	91	1,430	1,400	19	20.5	18	18	77	82	375	400	R90	3	1.1	4	30~50	追波	
			復路	終	14:21	16.3	90	1,430	1,400	19.5	20.5	18	18	77	81	375	400	R45	4	1.1	3	30~50
B-5	3/4	始	14:35		270	1,230	1,220	14.5	15.5	18	18	75	79	350	370	R10	17	1.0	3	70~90	向波	電波障害
			復路	終	14:43	14.12	268	1,230	1,220	15	15.5	18	18	75	79	350	365	L10	15	1.0	3	90~110
B-6	3/4	始	14:52		89	1,220	1,210	14.5	15	18	18	76	80	350	365	R170	2	1.8	3.5	70~90	追波	電波障害
			復路	終	14:59		92	1,220	1,210	15	16.5	18	18	76	80	350	365	L155	4	1.6	3.5	50~70
B-7	2/4	始	15:12	12.6	272	1,100	1,090	12	12.5	18	18	76	79	335	350	L10	16	1.4	3	90~110	向波	
			復路	終	15:20	13.2	270	1,090	1,080	11.5	12.5	18	18	75	80	335	350	R10	16	1.2	3	90~110
B-8	2/4	始	15:45	12.3	64	1,090	1,100	12	12	18	18	79	78	330	330	R75	2	2.0	3.5	50~70	追波	
			復路	終	15:51	13.6	87	1,080	1,090	12	12	18	18	81	80	335	340	R105	3	1.8	3.5	30~50
B-9	1/4	始	16:02	11.0	268	890	870	9	9.5	18	18	77	79	285	300	L10	14	1.5	3	70~90	向波	電波障害(レーダ11.6)
			復路	終	16:10	11.7	243	890	870	9	9.5	18	18	76	80	275	290	R15	12	1.5	3	70~90
B-10	1/4	始	16:18	9.4	90	880	870	9	9	18	18	75	80	275	285	L135	2	2.4	3.5	50~70	追波	電波障害(レーダ11.8)
			復路	終	16:24	11.8	91	890	880	9	9	18	18	77	80	275	285	L165	3	1.7	3.5	30~50
1982. 1. 28		動揺計		紙送り速度		5mm/s		測定レンジ		±10°												

表-4 航行時の推進力の変化による動揺の測定データ(試験C)

試験 番号	速力変化 の設定値	測定 時期	時刻	船速 (ノット)	方位 (度)	機関回転数(rpm)		プロペラピッチ角(度)		風		波				備 考					
						左	右	左	右	風向	風速(m/s)	周期(秒)	波長(m)	波高(cm)	向き						
C-1	0→13	始	13:47	0.2	85	1,100	1,100	0	0	R170	12	3.0	9	80~100	追波						
C-2	0→13	始	14:22	0.2	268	1,100	1,100	0	0	L15	9	2.7	9	50	向波						
			終	14:32	11.6	269	1,090	1,090	18	18	L15	13	1.1	10.8	70~90	向波					
C-3	13→17	始	14:58	6.5	270	1,130	1,080	18	18	L5	13	1.4	9	90~110	向波						
			終	15:08	15.2	267	1,420	1,390	18	18	L15	12	1.7	9	50~70	向波					
C-4	17→13	始				1,420	1,390	18	18			1.3	9	60~80	向波	船位データ欠(タイムマークなし)					
			終	15:12	14.9	253	1,090	1,080	18	18	L8	14									
C-5	10→→5	始	15:47	10.3	93	1,090	1,100	10	10	R170	4	1.7	13.5	50~70	追波	ピッチ角変位遅れ					
			終	15:51	8.5	93	1,090	1,100	-10	-10	R165	14	1.7	9	50~70	追波	(10→→5→→10)				
C-6	17→13	始	15:56	8.3	272	1,420	1,400	18	18	L15	14	1.2	9	70~90	向波	電波断(途中までは可)					
			終	16:01	12.2	273	1,060	1,080	18	18	L15	14	1.5	9	80~100	向波					
C-7	13→0	始	16:05	13.0	275	1,060	1,090	18	18	L10	15	1.4	9	70~90	向波						
			終	16:09	9.9	205	1,080	1,100	0	0	R45	12	3.4	13.5	90~110	向波					
C-8	17→13	始	16:29	2.6	270	1,420	1,390	18	18	L20	15	1.4	9	90~110	向波						
			終	16:32	10.7	274	1,060	1,070	18	18	L20	15	1.6	9	110~130	向波					
C-9	17→0	始	16:35	12.2	269	1,420	1,390	18	18	L20	15	1.1	10.8	90~100	向波						
			終	16:39	11.6	258	1,050	1,080	0	0	R10	10	3.1	9	110~130	向波					
1982. 1. 27		動揺計		紙送り速度		5mm/s		測定レンジ		±10°											

表-5 試験時の“おとり”の状態

日	時	喫水				船首			船尾			燃料											
		前左	前右	後左	後右	左バラスト	右バラスト	消水	左バラスト	右バラスト	消水	前左	前右	中左	中右	後右	サビシタンク						
1982. 1. 27	出港時	3.35m	3.35m	3.40m	3.40m	45cm	1.80tf	45cm	1.10tf	130cm	3.51tf	42cm	0.8tf	72cm	1.31tf	230cm	5.85tf	8,000ℓ	4,000ℓ	4,500ℓ	4,500ℓ	8,700ℓ	3,200ℓ
#	帰港時	3.15	3.25	3.40	3.50	45	1.80	45	1.10	113	2.90	42	0.8	72	1.31	223	5.35	#	#	#	#	#	1,500
1982. 1. 28	出港時	3.35	3.35	3.34	3.34	45	1.80	45	1.10	133	3.62	42	0.8	110	2.08	243	6.40	7,200	4,000	4,500	4,500	7,800	3,200
#	帰港時	3.00	3.10	3.40	3.55	45	1.80	45	1.10	105	2.71	42	0.8	110	2.08	237	5.88	#	#	#	#	#	1,200

(毎極トリムモーメント)が0.5(tf·m), 喫水測定部の船体前後方向距離が24.7mであるのでつぎのように計算される。

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{0.5}{\sin^{-1} \frac{1}{24.7 \times 10^2}} = 21.6 \text{ (tf·m/deg)} \quad (3)$$

式(2)と式(3)を比較すると, 誤差は5%以下であり今回の試験結果から求められた式(2)の値は妥当であることがわかる。

式(1)の仮定から“おおとり”の外力に対する動揺の伝達関数は2次要素である。2次要素のステップ応答は $C/2\sqrt{LK}$ の値によって振動減衰, 臨界減衰, または, 過減衰(非振動状)となる。

図-3によると“おおとり”のピッチングのステップ応答の減衰は振動的であるので, ピッチング角は次式で与えられる⁵⁾。

$$\theta(t) = \frac{M}{K} \left[1 - \frac{e^{-\xi \omega_0 t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} t + \phi) \right] \quad (4)$$

ただし,

$$\xi = \frac{C}{2\sqrt{LK}} \quad (5)$$

$$\omega_0^2 = \frac{K}{L} \quad (6)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \quad (7)$$

である。

図-3の波形のピーク値を14波分読みとり, 最初の極大値, 極小値に対する振幅比を求めて式(4)から計算した $\xi \omega_0$ の値を表-6に示す。ピッチング角の大きい揺れはじめの部分はばらつきが大きく非線形であると考えられるので, 表-6の最後の10個の平均をとると, $\xi \omega_0 = 0.0125$ となる。固有周期 T の平均は8.74秒であるので $\omega_0 = 2\pi/T = 0.719$ となり, $\xi = 0.0174$ が得られる。

$\xi = 0.0174$ の値を用いて理論的に計算したステップ応答の波形を図-5に示す。この値を表-6の最後の10個の $\xi \omega_0$ に対応するピッチング角と比較すると, 誤差は最大18%, 平均6.5%であった。

ゆえに, 実際の動揺は非線形であることを考えると, この試験で得られた $\xi = 0.0174$ の値は妥当であると言える。

式(6)より

$$L = \frac{K}{\omega_0^2} = \frac{20.6}{(0.719)^2} = 40.0 \text{ (tf·m·s}^2\text{/deg)} \quad (8)$$

となるので, 式(5)より

$$C = 2\xi\sqrt{LK} = 2 \times 0.0174 \times \sqrt{40.0 \times 20.6} = 0.999 \text{ (tf·m·s/deg)} \quad (9)$$

となる。

よって, 試験番号A-2の測定結果から得られた本船のピッチングの運動方程式は(2)(8)(9)を式(1)に代入して, つぎようになる。

表-6 $\xi \omega_0$ の計算(試験番号A-2)

経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi \omega_0$	経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi \omega_0$
0.0 s	1.18 deg			3.68 s	-0.83 deg		
8.86	0.63	8.86 s		13.20	-0.79	9.52 s	0.00519
17.12	0.76	8.26	-0.0227	21.28	-0.57	8.08	0.0214
26.18	0.53	9.06	0.00998	30.32	-0.59	9.04	0.0128
34.22	0.58	8.04	0.00326	38.98	-0.39	8.66	0.0214
43.72	0.48	9.50	0.00780	47.74	-0.48	8.76	0.0124
51.82	0.43	8.10	0.00889	56.56	-0.33	8.82	0.0174
61.06	0.39	9.24	0.00919	65.06	-0.34	8.50	0.0145
69.16	0.22	8.10	0.0174	74.18	-0.33	9.12	0.0131
78.40	0.26	9.24	0.0127	82.74	-0.28	8.56	0.0137
87.10	0.23	8.70	0.0129	91.38	-0.28	8.64	0.0124
95.78	0.21	8.68	0.0126	100.32	-0.25	8.94	0.0124
104.60	0.20	8.82	0.0120	108.96	-0.27	8.64	0.0107
113.48	0.17	8.88	0.0125	118.02	-0.24	9.06	0.0109
122.08	0.14	8.60	0.0133	126.4	-0.12	8.38	0.0158
	平均	8.72			平均	8.77	

周期の平均 8.74 秒

$\xi \omega_0$ の平均 0.0125

$\xi = 0.0174$

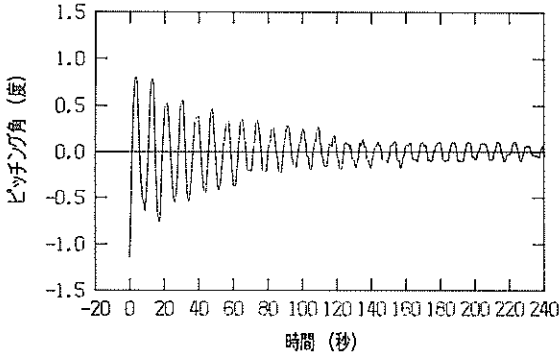


図-3 ステップ応答の測定例(ピッチング)

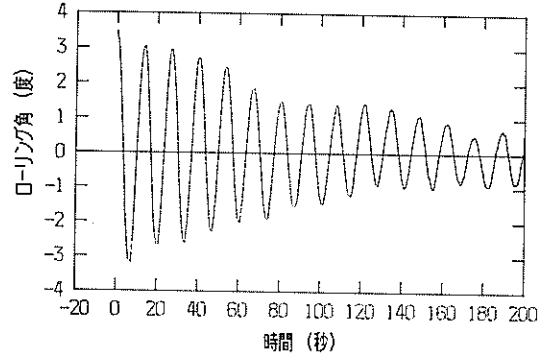


図-4 ステップ応答の測定例(ローリング)

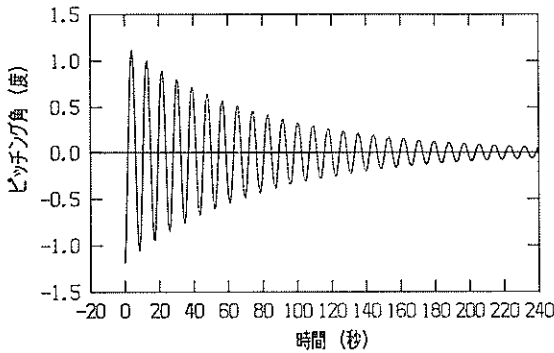


図-5 ステップ応答の理論計算(ピッチング)

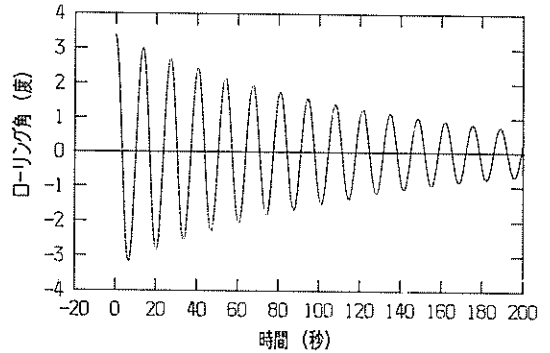


図-6 ステップ応答の理論計算(ローリング)

$$40.0 \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial t^2} + 0.999 \frac{\partial \theta_p}{\partial t} + 20.6 \theta_p = M_p \quad (10)$$

ただし、 θ_p の単位は度、 M_p の単位は $\text{tf} \cdot \text{m}$ であり、ピッチングの運動方程式であることを示すため、式(1)の記号に対して添字 p を付加してある。

試験番号 A-3 について同様の計算を行うと表-7 のようになり、 $\xi = 0.0195$ となった。運動方程式はつぎのようになる。

$$35.5 \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial t^2} + 1.025 \frac{\partial \theta_p}{\partial t} + 18.5 \theta_p = M_p \quad (11)$$

式(10)(11)は L, K に比べて C の小さい半没水型双胴船である“おおとり”の特徴がよく現われている。

また、ピッチングの固有周期は試験番号 A-2, 3 を平均すると 8.73 秒であり、同等寸法の一般の船形に比べてかなり長いことがわかる。

(2) ローリング

ピッチングの場合と同様に、図-4 に示す試験番号 A-5 の波形のピーク値を 14 波分読みとって計算した $\xi \omega_0$ の値を表-8 に示す。

表-8 の最後の 10 個の平均から $\xi = 0.0171$ となり、理論的に計算したステップ応答の波形は図-6 のように

なる。

また、運動方程式はつぎのようになる。

$$17.0 \frac{\partial^2 \theta_r}{\partial t^2} + 0.270 \frac{\partial \theta_r}{\partial t} + 3.67 \theta_r = M_r \quad (12)$$

同様に試験番号 A-4 の場合は表-9 のようになり運動方程式はつぎのようになる。

$$19.2 \frac{\partial^2 \theta_r}{\partial t^2} + 0.218 \frac{\partial \theta_r}{\partial t} + 4.15 \theta_r = M_r \quad (13)$$

ただし、 θ_r の単位は度、 M_r の単位は $\text{tf} \cdot \text{m}$ であり、ローリングの運動方程式であることを示すため、式(1)の記号に対して添字 r を付加してある。

式(12)(13)からピッチングの場合と同様に L, K に比べて C が小さいことがわかる。また、ローリングの固有周期は試験番号 A-4, 5 を平均すると 13.5 秒であり、同等寸法の一般の船形に比べてかなり長いことがわかる。

なお、一般のステップ応答と異なり本試験では外力を除荷して測定を行っているので、図-3~6 は動揺角の最終値を 0 度として表示した。

4.2 船速と動揺の関係の測定結果

船速と動揺の関係の測定データを表-3 に示す。表-3 の値から計算すると、測定開始時と測定終了時の船速

の変動は、試験番号B-1,2,10を除いて12%以下であった。試験番号B-1,2は停船状態であり船速が小さいため誤差が大きくなっていることと、試験番号B-10の場合は電波状態に障害があったことを考慮すると、試験中“おとり”はほぼ一定の船速を保っていたと考えられる。以後、測定中の船速として、試験番号B-1~4,7,8については測定開始時と測定終了時の船速の平均、試験番号B-5,6,9,10についてはレーダによる値を用いた。

つぎに、方位のずれは試験番号B-1,9を除いて最大3度であった。試験番号B-1は停船状態であるので除外すると、試験番号B-9以外はほぼ一直線上を航行していたと言える。

また、表-3から、機関と推進機の状態や海象条件もほぼ一定を保っていたと言えるであろう。

(1) ピッチング

各試験番号におけるピッチングの測定結果を図-7.1~10に示す。

図-7.1~10を比較すると図-7.1,2の停船時の場合を除いて向波状態の方が追波状態より動揺周波数が高くなっている。これは、船体が一定時間内に波を横切る回数は向波状態の方が追波状態より多いことを考えると当然である。また、追波状態の方が向波状態よりもピッチング角が正の方向に片寄る傾向、つまり、船首が下がる傾向が見られる。そして、それは試験番号B-5~8の場合に著しい。また、船速によってピッチング角の値の

範囲は異なっている。これは船速によってトリム角が変化していることによる。

そこで、図-7.1~10に示したピッチング角の平均値をとり、それをトリム角としてピッチング角の最大値、最小値とともに船速に対して示したものが図-8である。

1~11ノットの船速に対する測定を行っていないので断定はできないが、図-8によると船速12ノット付近で最大の船首トリム角が生じていると考えられる。これは第三港湾建設局神戸機械整備事務所が行った船首甲板-水面間距離の測定結果と同じ傾向であり、“おとり”は船速12ノット付近でもっとも船首方向に傾いた姿勢になると言える。

一般の船形では、船速とトリムの関係についてつぎのような報告がある。それによると、フルード数が0.3以下では船首、船尾とも沈下し、その量は船首の方が大きい。船速が増加するにつれて、船首はフルード数0.3付近で最大沈下となりそれ以後は浮上するのに対し、船尾はフルード数0.6付近で最大沈下となりそれ以後は沈下量は変化しないとされている⁶⁾。

12ノットの場合“おとり”のフルード数は0.38であり、一般の船形の場合と少し異なっている。しかし、トリム角と船速の関係は一般の船形の場合と同様な傾向であると言える。

向波状態と追波状態を比較すると、停船状態である試験番号B-3,4の場合を除いて、図-7のところで述べたように、追波状態の方が向波状態に比べてトリム角が

表-7 $\xi\omega_0$ の計算(試験番号A-3)

経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$	経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$
0.0 s	1.31 deg			3.52 s	-0.755 deg		
8.60	0.785	8.60 s		12.98	-0.615	9.46 s	0.0217
16.82	0.925	8.22	-0.0200	21.06	-0.455	8.08	0.0289
26.34	0.745	9.52	0.00295	30.16	-0.435	9.10	0.0207
34.10	0.785	7.76	0	38.40	-0.205	8.24	0.0374
43.36	0.615	9.26	0.00702	47.28	-0.265	8.88	0.0239
51.28	0.635	7.92	0.00497	56.34	-0.145	9.06	0.0312
60.74	0.615	9.46	0.00468	64.64	-0.145	8.30	0.0270
69.30	0.525	8.56	0.00663	74.10	-0.055	9.46	0.0371
78.00	0.505	8.70	0.00636	82.48	-0.075	8.38	0.0292
86.66	0.335	8.66	0.0109	91.16	-0.165	8.68	0.0174
95.56	0.255	8.90	0.0129	99.94	-0.195	8.78	0.0140
104.02	0.195	8.46	0.0146	108.64	-0.185	8.70	0.0134
113.04	0.135	9.02	0.0169	116.98	-0.205	8.34	0.0115
121.24	0.145	8.20	0.0150	126.08	-0.135	9.10	0.0140
	平均	8.66			平均	8.75	

周期の平均 8.71 秒

$\xi\omega_0$ の平均 0.0141

$\xi = 0.0195$

正の方向に片寄る傾向、つまり、船首が下がる傾向が見られる。そして、その傾向は船速14ノット付近でもっとも顕著となっている。図-9にピッチング角の最大値と最小値の平均値からの差、図-10にピッチング角の最大値と最小値の差を、それぞれ船速に対して示す。

図-9, 10を見ると、ピッチング角の最大値と最小値

の平均値からの差は船速13ノット付近で最大となり、最大値と最小値の差は追波状態の方が向波状態より大きい。つまり、全体として追波状態の方が向波状態よりピッチング角の変動は大きく、トリム角の絶対値も大きいと言える。船速が大きいほど追波状態と向波状態の相対的な差は小さくなるはずであるが、ピッチング角の変動が船

表-8 $\xi\omega_0$ の計算(試験番号 A-5)

経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$	経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$
0.0 s	3.37 deg			6.98 s	-3.11 deg		
13.90	3.11	13.9 s		20.64	-2.63	13.66 s	0.0123
27.06	3.03	13.16	0.00198	33.68	-2.57	13.04	0.00714
40.56	2.81	13.50	0.00380	47.30	-2.13	13.62	0.00939
53.70	2.51	13.14	0.00539	60.50	-1.97	13.20	0.00853
67.10	1.95	13.40	0.00877	74.28	-1.91	13.78	0.00724
80.82	1.47	13.72	0.0112	87.74	-1.51	13.46	0.00895
94.60	1.47	13.78	0.00929	101.36	-1.47	13.62	0.00794
108.06	1.37	13.46	0.00871	114.66	-1.15	13.30	0.00924
121.62	1.53	13.56	0.00659	128.24	-0.87	13.58	0.0105
134.84	1.37	13.22	0.00678	141.40	-0.87	13.16	0.00948
148.26	1.13	13.42	0.00754	155.08	-1.03	13.68	0.00746
162.24	0.97	13.98	0.00785	168.64	-0.79	13.56	0.00848
175.22	0.65	12.98	0.00970	182.24	-0.91	13.60	0.00701
189.22	0.79	14.00	0.00782	196.02	-0.77	13.78	0.00738
	平均	13.52			平均	13.50	

周期の平均 13.5 秒 $\xi\omega_0$ の平均 0.00795 $\xi = 0.0171$

表-9 $\xi\omega_0$ の計算(試験番号 A-4)

経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$	経過時刻	動揺角度	周 期	$\xi\omega_0$
0.0 s	2.98 deg			5.80 s	-3.68 deg		
12.64	2.94	12.64 s		19.64	-3.64	13.84 s	0.00079
26.48	2.66	13.84	0.00723	33.16	-3.40	13.52	0.00289
39.98	2.46	13.50	0.00652	46.72	-3.10	13.56	0.00419
53.40	2.42	13.42	0.00478	60.40	-2.90	13.68	0.00436
67.22	2.30	13.82	0.00450	73.84	-2.68	13.44	0.00466
80.62	2.14	13.40	0.00467	87.50	-2.42	13.66	0.00513
94.22	1.96	13.60	0.00497	101.20	-2.20	13.70	0.00539
107.42	1.78	13.20	0.00529	114.46	-1.88	13.26	0.00618
120.78	1.62	13.36	0.00551	127.64	-1.64	13.18	0.00663
134.46	1.52	13.68	0.00542	141.22	-1.56	13.58	0.00634
147.96	1.30	13.50	0.00603	154.74	-1.60	13.52	0.00559
161.56	1.20	13.60	0.00602	168.08	-1.52	13.34	0.00545
174.70	1.10	13.14	0.00607	181.22	-1.34	13.14	0.00576
188.40	1.24	13.70	0.00491	195.30	-1.34	13.08	0.00533
	平均	13.46			平均	13.54	

周期の平均 13.5 秒 $\xi\omega_0$ の平均 0.00569 $\xi = 0.0122$

図-7 ピッチング角の測定結果

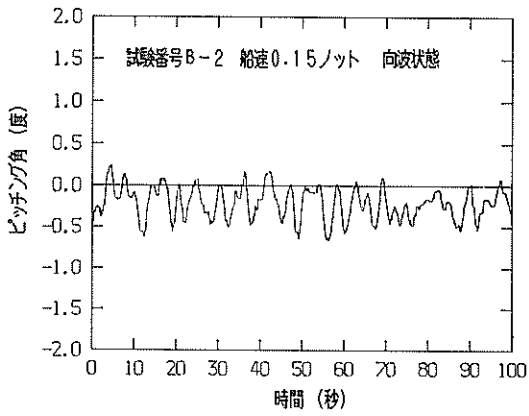


図-7.1

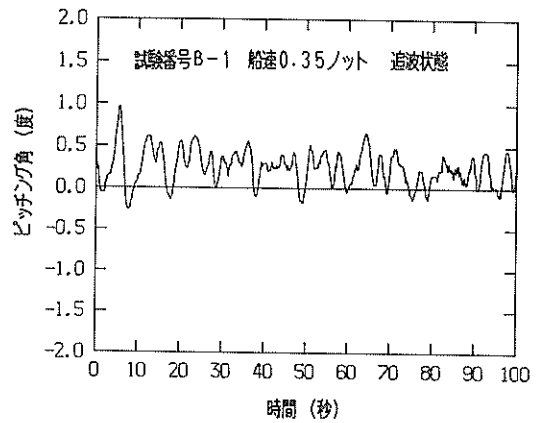


図-7.2

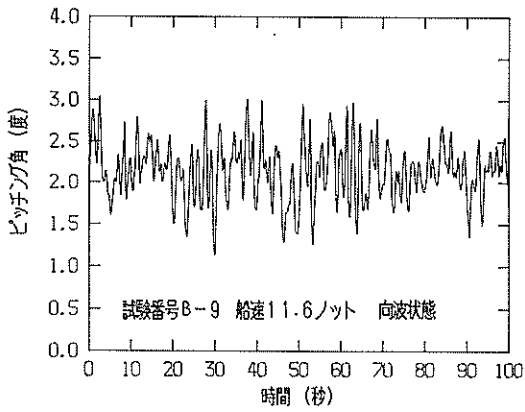


図-7.3

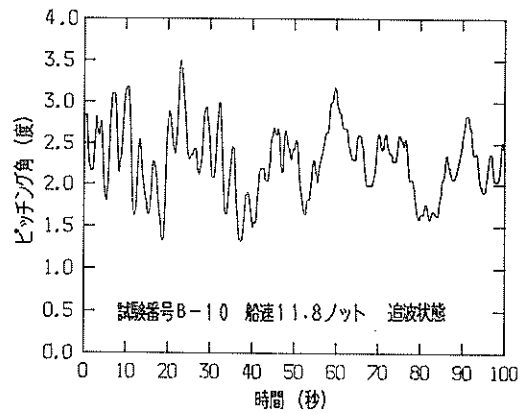


図-7.4

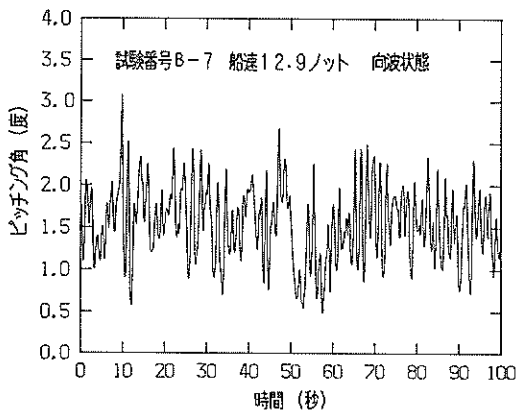


図-7.5

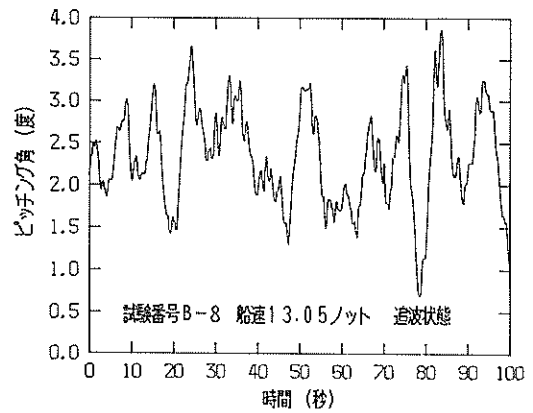


図-7.6

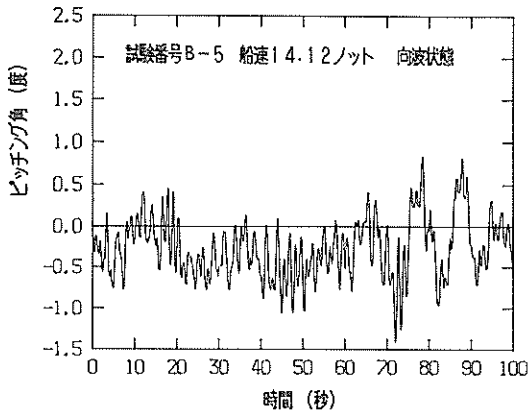


図-7.7

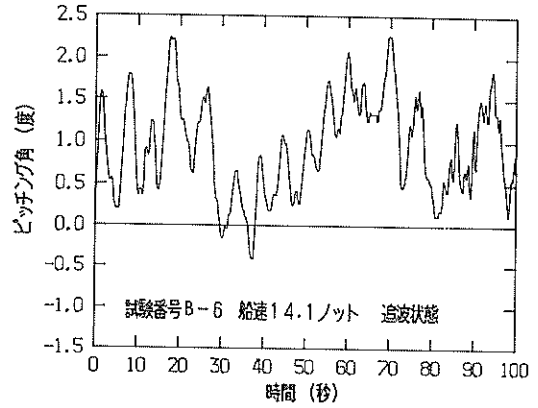


図-7.8

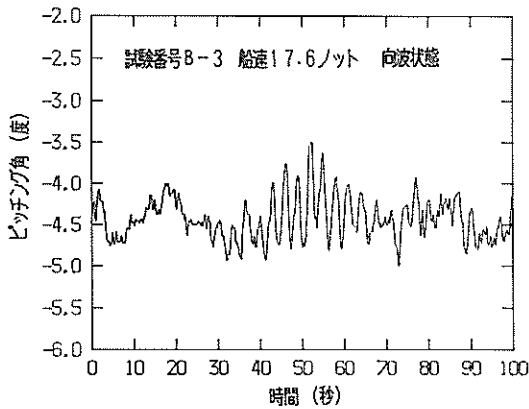


図-7.9

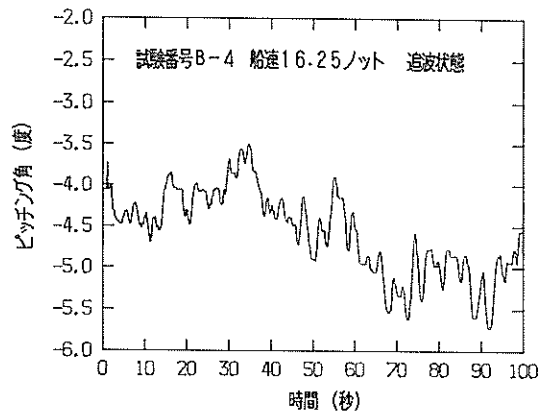


図-7.10

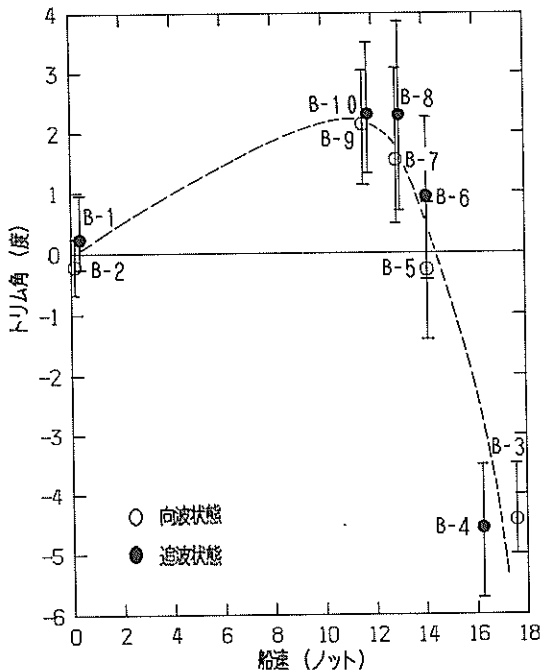


図-8 船速とトリム角の関係

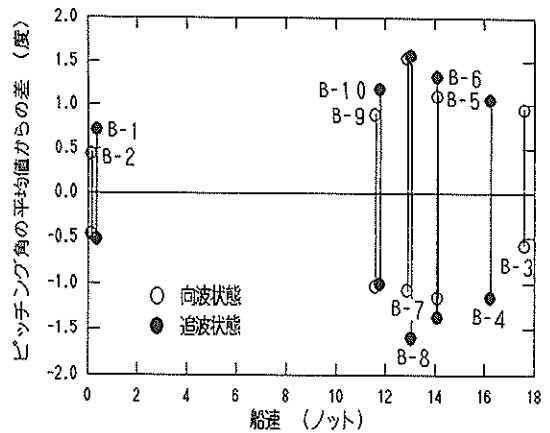


図-9 ピッチング角の平均値からの差

速13ノット付近で極大となっているのは、波のみかけ周期と船体の固有周期との間に同調現象が生じている可能性がある。

つぎに、ピッチング角の測定結果を周波数分析したものを図-11.1~10に示す。これは図-7.1~10に示したピッチング角を0.1秒ごとに1,024個読みとりフーリ

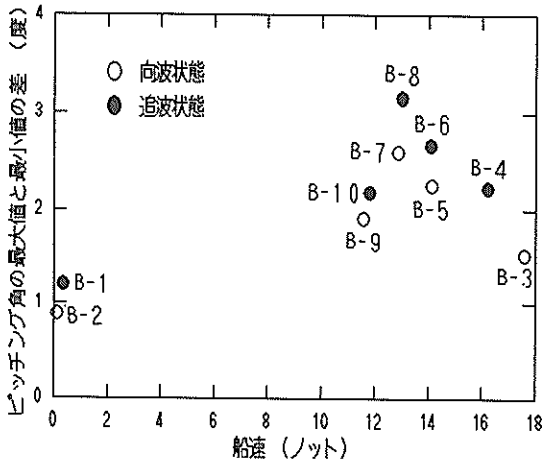


図-10 ピッチング角の最大値と最小値の差

＝変換により周波数分布を求めたものであり、最大振幅に対する比の値で示してある。

一般に船体動揺は、船体の固有周期で揺れる自由動揺と波による強制動揺からなると考えられる。“おおとり”のピッチングの固有周期は4.2で述べたように8.73秒であるので固有周波数は0.115 Hzとなる。これは船速に関係なく一定であるが、波による強制動揺の周波数は船速によって変化する。

図-11を見ると、試験番号により差はあるが、周波数分布は固有周波数以外の範囲に広がっており、これは波による強制動揺の周波数であると考えられる。

向波状態と追波状態を比較すると、向波状態の方が追波状態よりも高い周波数成分を持つ傾向がある。これは、一定期間内に船体が横切る波の数は向波状態の方が追波状態より多いことによるものであろう。

図-11 ピッチング角の周波数分析結果

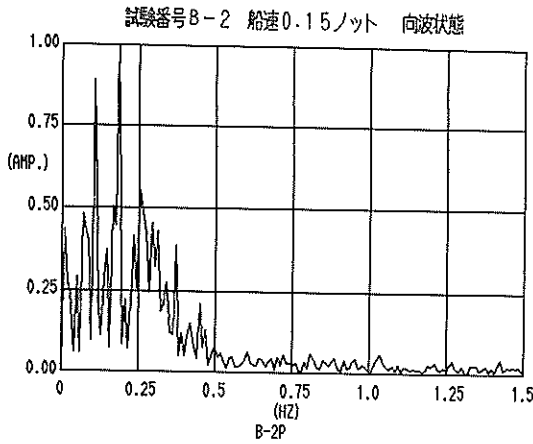


図-11.1

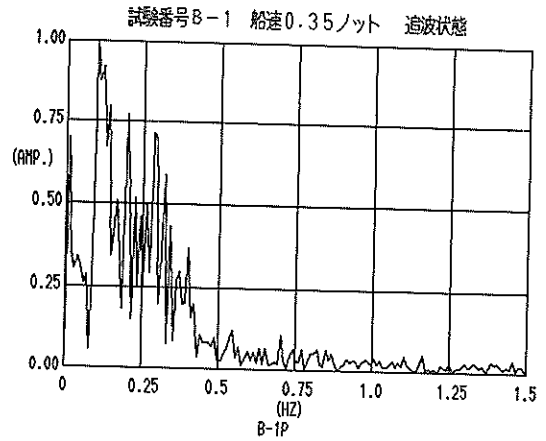


図-11.2

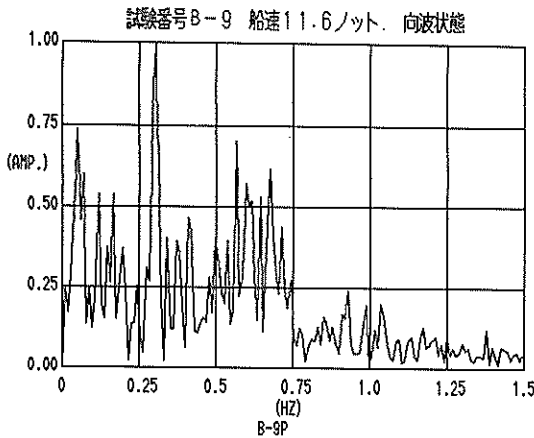


図-11.3

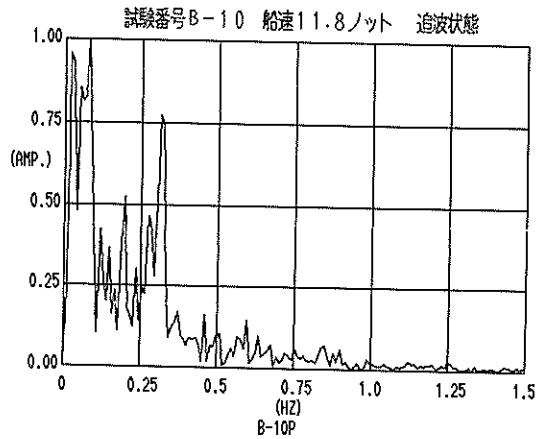


図-11.4

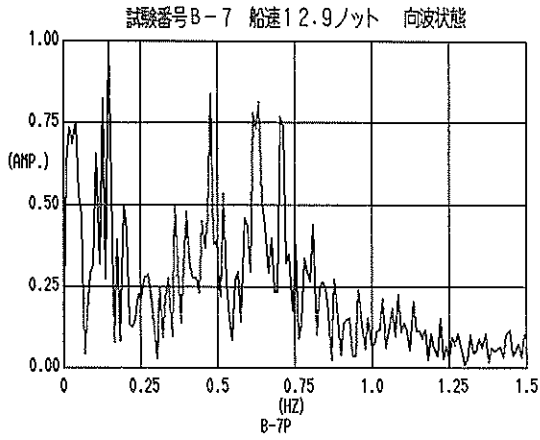


図 - 11.5

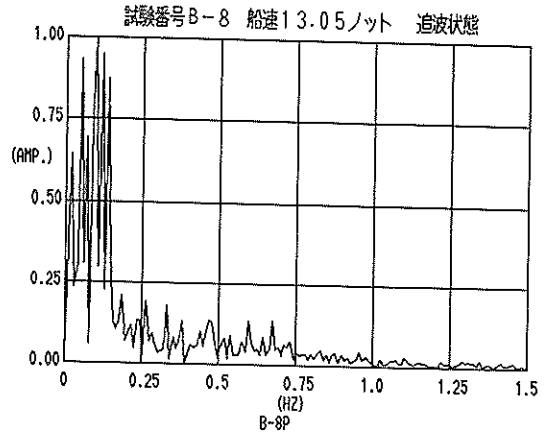


図 - 11.6

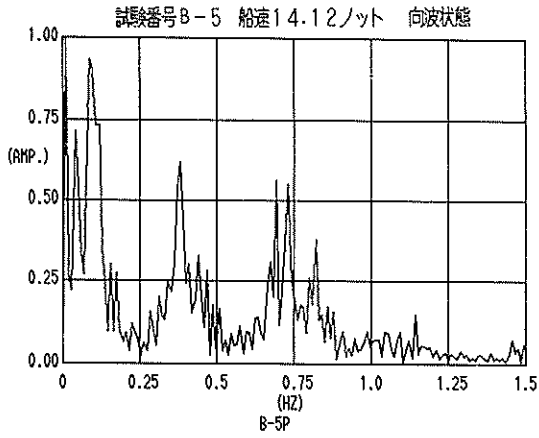


図 - 11.7

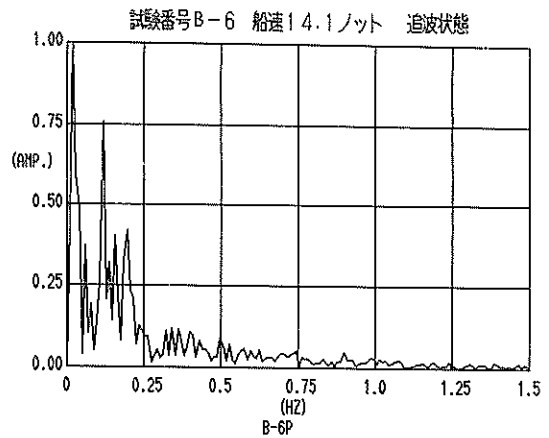


図 - 11.8

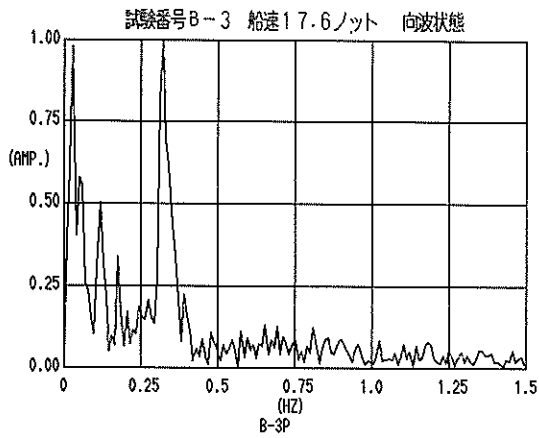


図 - 11.9

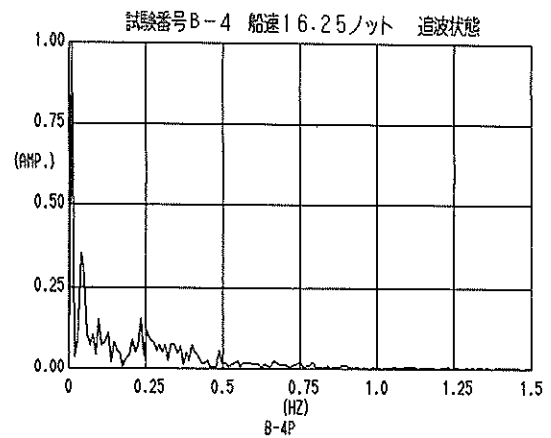


図 - 11.10

図-11.1と図-11.2を比較すると、停船状態では周波数分布の形は似ており、追波状態の方が向波状態より波による強制動揺の振幅がやや大きい。これは、追波状態の方が波の影響を受けやすいことを示している。

また、図-11全体を見ると、向波状態の場合は船速が増加するにつれて、波による強制動揺の周波数が大きくなる傾向がある。これに対して、追波状態の場合は船速が増加するにつれて、波による強制動揺の周波数は船速13ノット付近までは小さくなりその後は大きくなる傾向がある。これは波の速度と船速の相対関係によるものと考えられる。船速13ノットの追波状態では図-11.6の周波数分布の形からも、先に述べたように波のみかけ周期と船体の固有周期との間に同調現象が生じている可能性がある。

(2) ローリング

各試験番号におけるローリング角の測定結果を図-12.1~10に示す。図-12.1~10を比較すると追波状態と向波状態では基本的な周期は同程度で、向波状態ではその上に短い周期の波が重ねあわされている。これは、ローリングの基本周期は追波状態、向波状態に関係せず、波による強制動揺は船体固有周期のローリングに比べると小さいものと考えられる。

ローリング角の平均値をローリング角の最大値、最小値とともに船速に対して示したものが図-13である。図-13によるとローリング角の平均値は船速に対してあまりはっきりした傾向は持っていない。これはローリング角の平均値は本来0になるであろうことを考えると妥当である。ローリング角の変動を調べるため、図-14にロ

図-12 ローリング角の測定結果

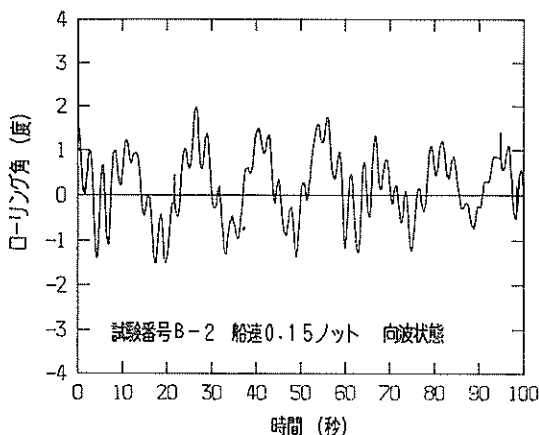


図-12.1

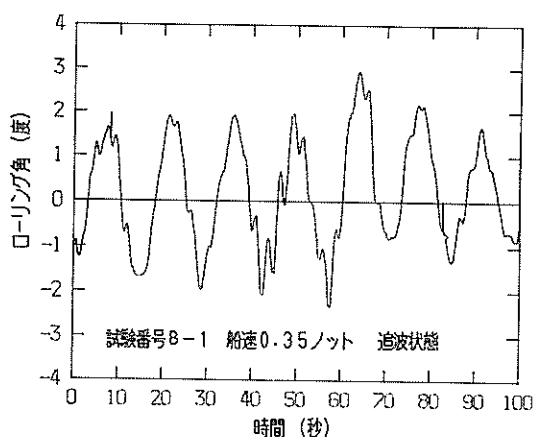


図-12.2

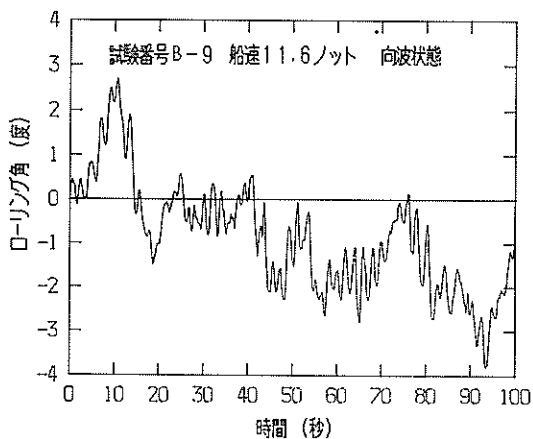


図-12.3

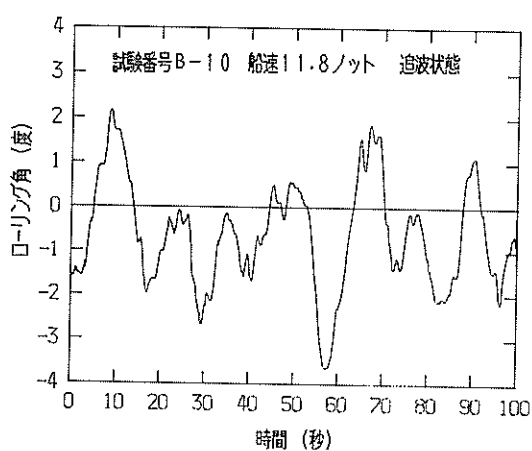


図-12.4

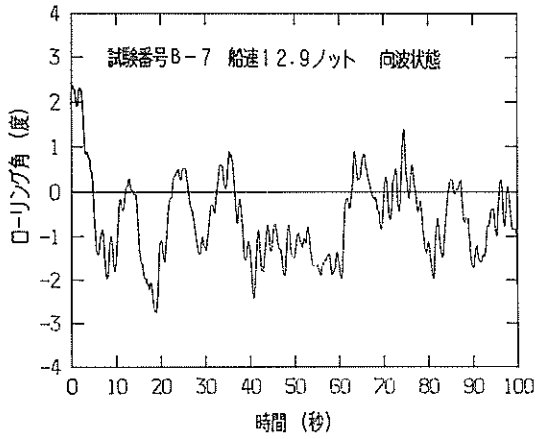


図 - 12.5

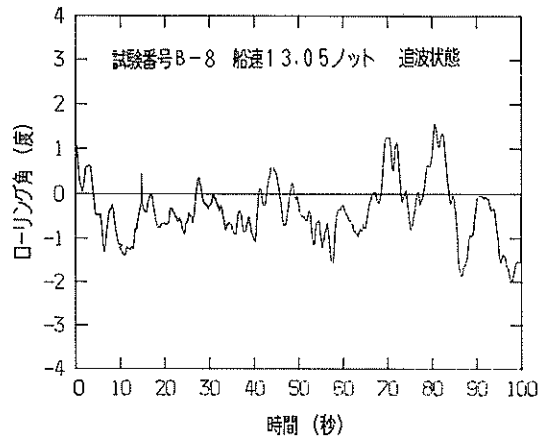


図 - 12.6

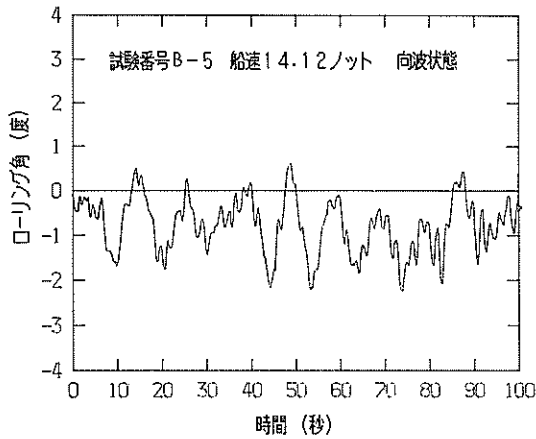


図 - 12.7

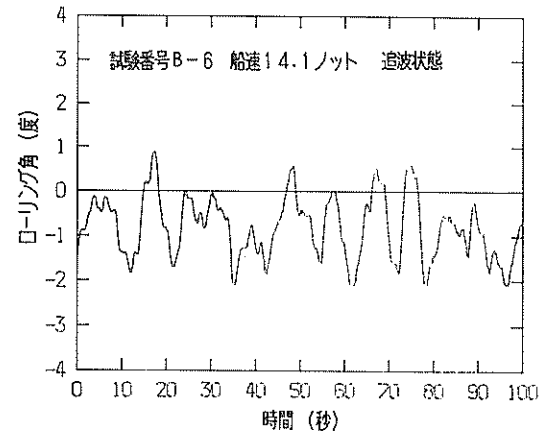


図 - 12.8

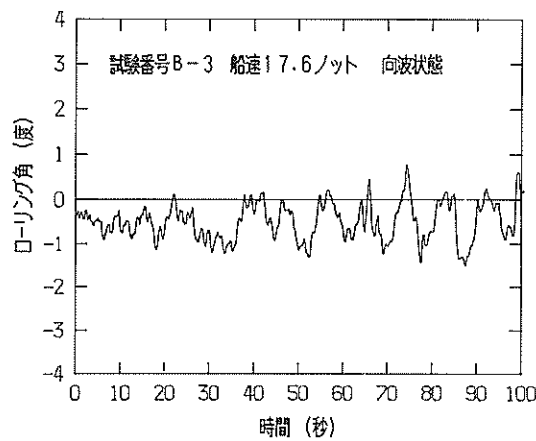


図 - 12.9

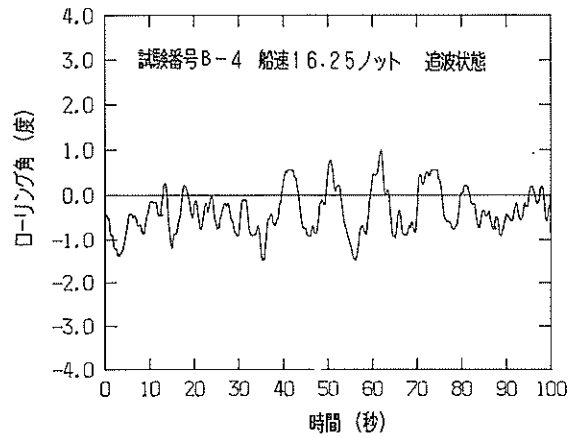


図 - 12.10

ローリング角の最大値、最小値の平均値からの差、図-15にローリング角の最大値と最小値の差を、それぞれ船速に対して示す。図-14によると船速0ノット付近でもローリング角の最大値と最小値の平均値からの差はかなり大きく、船速12ノット以上では船速が増加するにつれて小さくなっている。図-15も同様の傾向を示しており、ローリング角の変動は船速が増加するにつれて小さくなると言える。

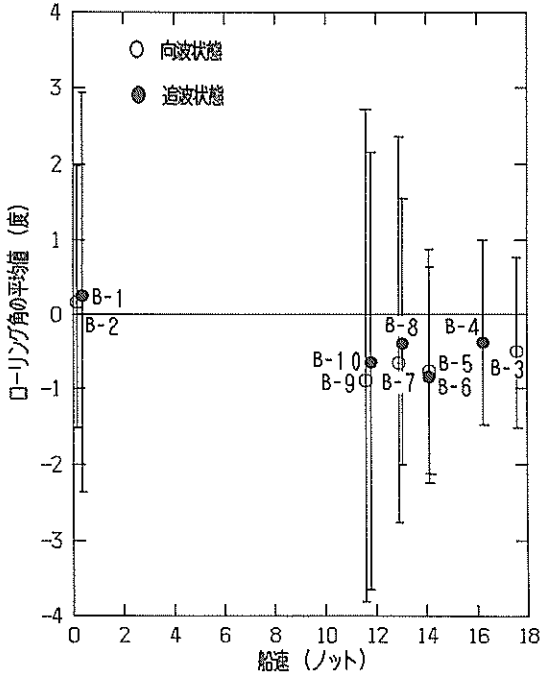


図-13 船速とローリング角の平均値の関係

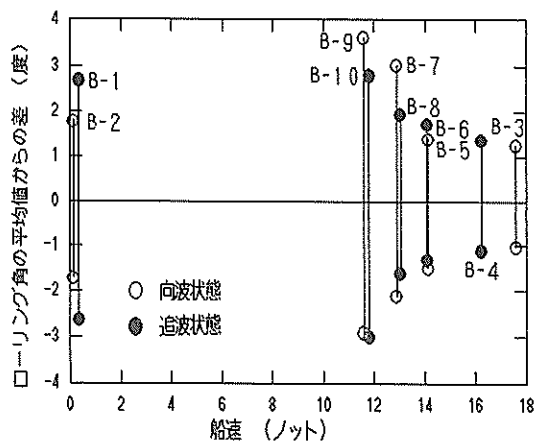


図-14 ローリング角の平均値からの差

つぎに、ピッチング角の場合と同じ方法でローリング角の測定結果を周波数分析したものを図-16.1~10に示す。

“おおとり”のローリングの固有周期は4.2で述べたように13.5秒であるので固有周波数は0.0741Hzとなる。

試験番号B-9は、表-3からわかるように測定中方位が25度ずれており、図-12.3に示すようにローリング角は除々に負の方向に移動している。そのため、周波数分布の低周波成分が大きくなり固有周波数ははっきりしなくなっている。そのことを考慮すると、図-16全体では、周波数分布は固有周波数にはっきりしたピークを持ち、船速に関係なくほぼ同じ分布を示している。向波状態と追波状態を比較すると、向波状態の方には固有周波数より大きい周波数のところに小さなピークが見られる。これは図-12のところでも述べたように、波による強制動揺の影響であると考えられる。つまり、ローリングについては、向波状態の方が追波状態より波の影響が大きいと考えられる。

4.3 航行時の推進力の変化による動揺の測定結果

航行時の推進力の変化による動揺の測定データを表-5に示す。表-5中に示した測定開始時と終了時の船速はロラン0受信装置で得た値である。後で述べる測定中の船速はマイクロ波船位測定装置で記録した船位から求めた。

試験当日は降雪のため電波状態が悪く、ロラン0受信装置で得た船速はあまり正確ではない。また、試験番号C-4の全部と試験番号C-6の後半は電波断のためマイクロ波船位測定装置を使用できなかったため船位が得られなかった。そのため、試験番号C-4,6の測定結果の解析は行っていない。

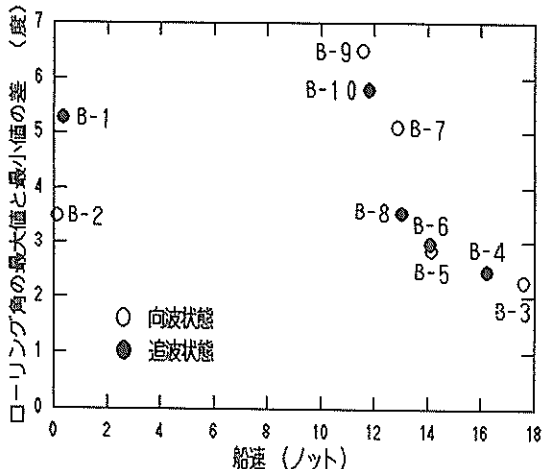


図-15 ローリング角の最大値と最小値の差

図-16 ローリング角の周波数分析結果

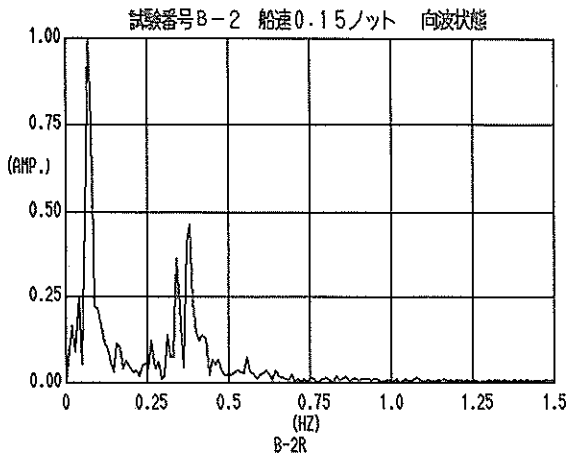


図-16.1

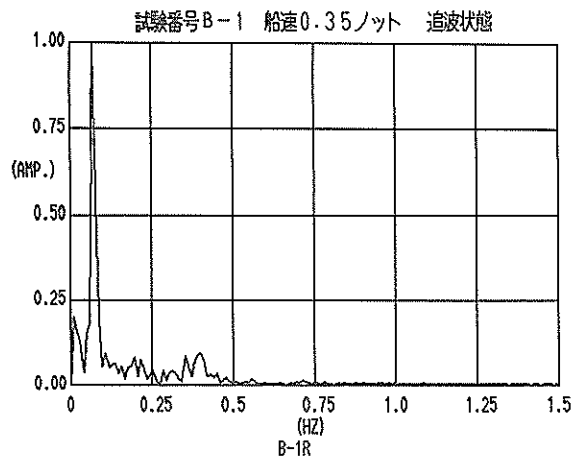


図-16.2

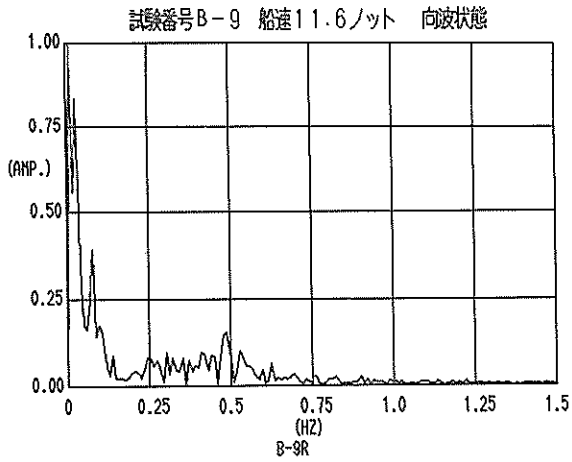


図-16.3

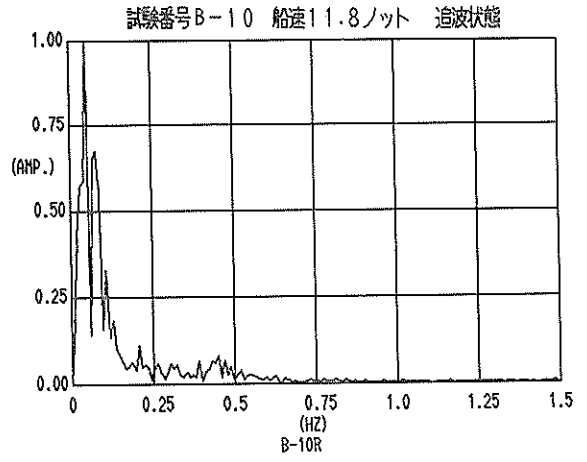


図-16.4

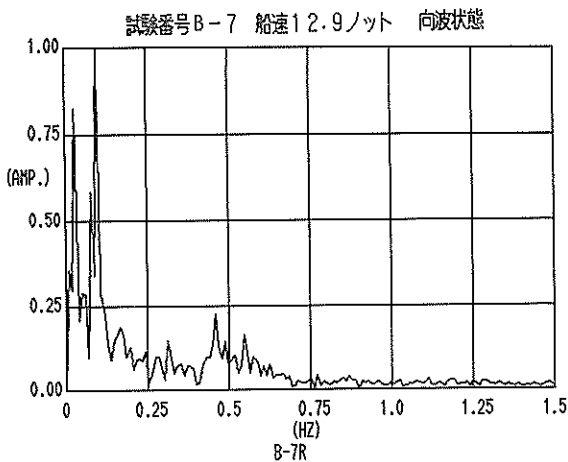


図-16.5

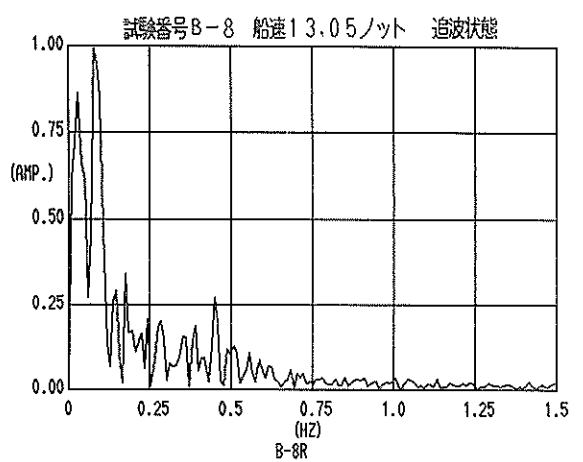


図-16.6

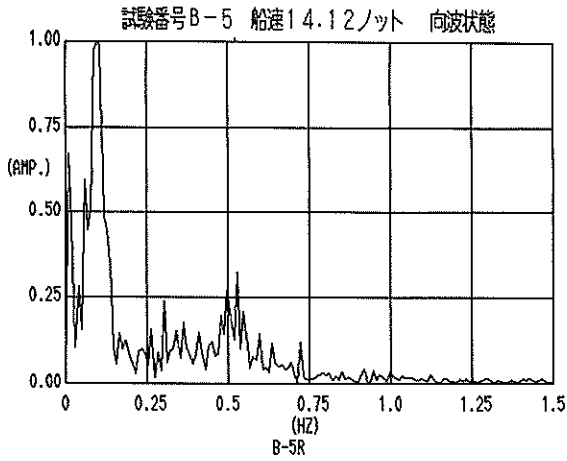


図 - 16.7

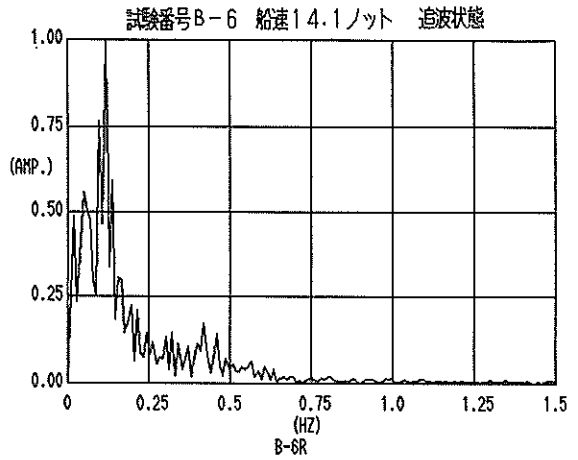


図 - 16.8

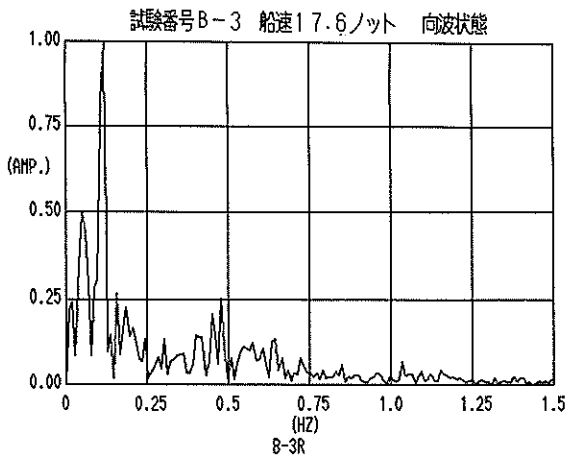


図 - 16.9

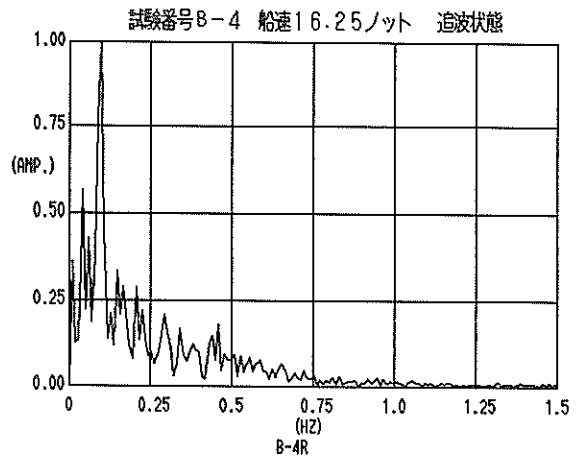


図 - 16.10

試験番号C-4,6をやり直したため、0ノットから17ノットへ加速する試験と-5ノットから10ノットへ加速する試験は行うことができなかった。

また、方位のずれは、試験番号C-7,9を除くと最大4度であった。試験番号C-7,9は測定終了時に停船状態となることを考えると、試験番号すべてにおいてほぼ一直線を航行していたと言える。

試験番号C-1,5を除いて試験は向波状態で行った。試験番号C-5の場合は測定中に前進から後進に変わるので、測定終了時の進行方向に対して向波状態となるよう追波状態で測定を開始したものである。試験番号C-1の場合は、追波状態で船速13ノット付近では船首トリム角は最大に近く、また、波の周期との同調現象が生じる可能性があるため、特に追波状態の場合を調べてみたものである。

各試験におけるピッチング角、船速、加速度を図-17.

1~7に示す。ここで船速はマイクロ波船位測定装置で船位を1秒ごとに記録した値から計算して求めたものである。マイクロ波船位測定装置で得られる船位の最小単位は1mであるため、そのまま計算すると船速の誤差は0.97ノットとなり、船速が小さい場合には誤差が大きくなる。そこで、ほぼ一直線を航行していることが確かめられているので、船位を最小二乗法で直線近似し、船位の座標からその直線におろした垂線の足の座標を新しい船位とした。船速はさらにその新しい船位について2秒前から2秒後までの5個の値の移動平均から計算して求めた。加速度は以上のようにして求めた船速から計算して求めた。

(1) 停船状態から航行状態

停船状態から航行状態に移る試験は試験番号C-1,2であり、その測定結果を図-17.1,2に示す。ともに船速を0ノットから13ノットに増加させた。機関回転数

図-17 航行時の推進力の変化による動揺の測定結果

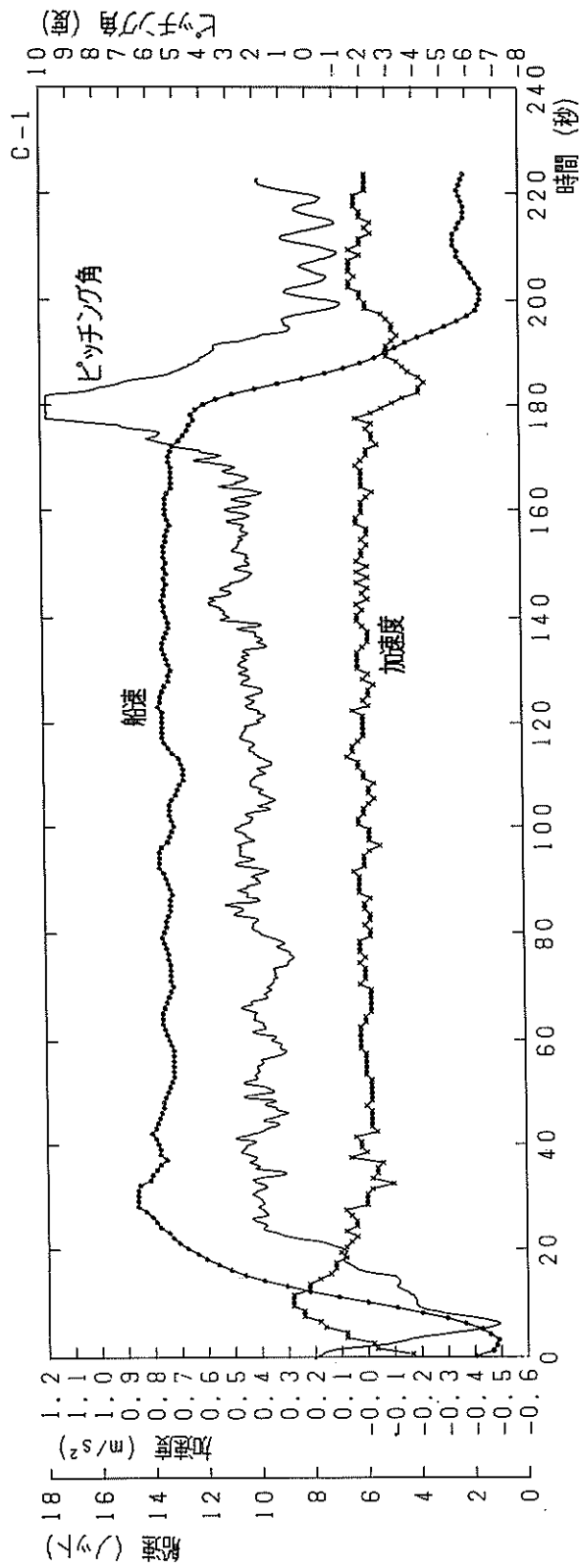


図-17.1

は一定としてプロペラのピッチ角だけを変化させている。試験番号C-1は追波状態、試験番号C-2は向波状態で測定を行った。

図-17.2を見ると停船状態から約35秒で船速13ノットに達している。ピッチング角と船速の関係を調べると、船速が増加を始める前にピッチング角は負の方向に変化しはじめている。これは、プロペラのピッチ角の変化による推進力の増加分が、まずピッチング角を変化させるために使われ、その後、船速が変化すると考えられる。ピッチング角の絶対値はある程度大きくなると船体の復原力により減少しはじめる。そして、加速度が最大となる前にピッチング角のピークは過ぎている。

図-17.1に示す試験番号C-1の場合も同じ傾向であるが、船速13ノットに達するまでの時間は約20秒と短くなっている。また、試験番号C-2の測定開始後40秒付近に見られるピッチング角の2回目のピークは存在しない。

試験番号C-1で一定船速に達した後も測定を続けていたところ、測定開始後約180秒で船体がゆっくり船首方向に傾くという現象が生じたため停船した。図-17.1でピッチング角が動揺計の測定範囲を越えた部分はずでに停船動作に入った後であり、推進力の減少によるピッチング角の増加がこの現象によるピッチング角の増加に重ねあわされている。

この現象は半没水型双胴船であるアメリカ海軍のSSP KAIMALINOについて large amplitude but gentle "plow in" として報告されている現象⁴⁾に酷似している。ゆえに、固有周期が長く復原力の小さい半没水型双胴船

が追波状態で航行する場合に特有の現象であると考えられる。船速を変化させる際にこの現象が生じる船速を素早く通過することにより、この現象を回避することができるであろう。

(2) 航行状態から停船状態

航行状態から停船状態に移る試験は試験番号C-7, 9であり、その測定結果を図-17.5, 7に示す。試験番号C-7は船速13ノットから0ノットへの減速で、機関回転数は一定としてプロペラのピッチ角だけを変化させた。試験番号C-9は船速17ノットから0ノットへの減速で、機関回転数とプロペラのピッチ角の両方を変化させた。

図-17.5を見ると、4.3(1)と同様に、船速が変化する前にピッチング角が変化しはじめており、加速度がピークとなる前にピッチング角はピーク値を持っている。

各測定値の値は異っているが、図-17.7も図-17.5と全く同じ傾向である。

(3) 航行中増速

航行中に増速する試験は試験番号C-3であり、その測定結果を図-17.3に示す。プロペラのピッチ角は一定として機関回転数だけを増加させ、船速を13ノットから17ノットに増加させた。

図-17.3を見ると船速の増加はゆるやかであり、加速度にもはっきりしたピークは見られない。このため、ピッチング角も船速につれてゆるやかに変化し、はっきりしたピークは持っていない。これは、航行中の機関回転数の増加による増速には時間がかかるためであると考えられる。

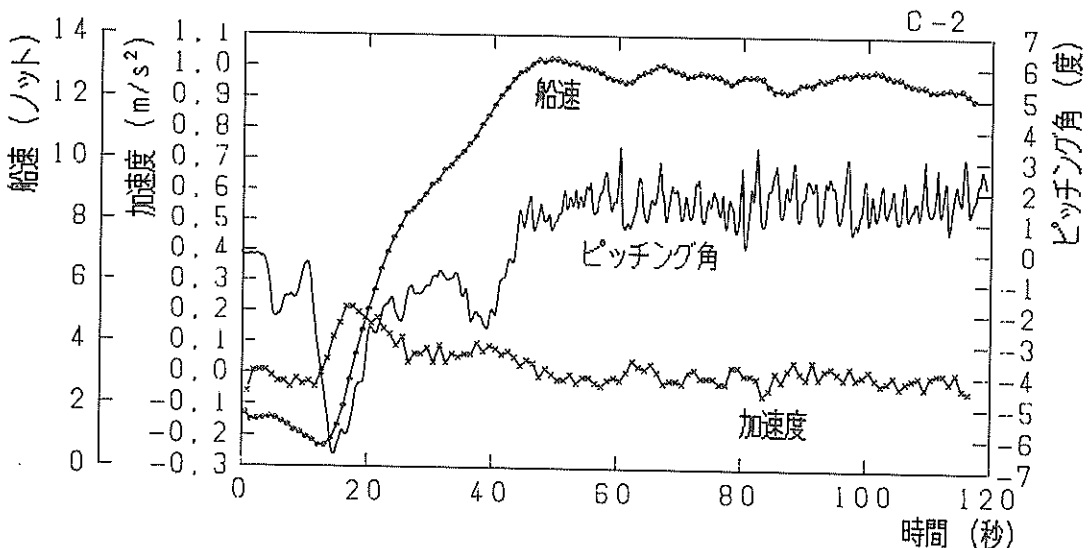


図-17.2

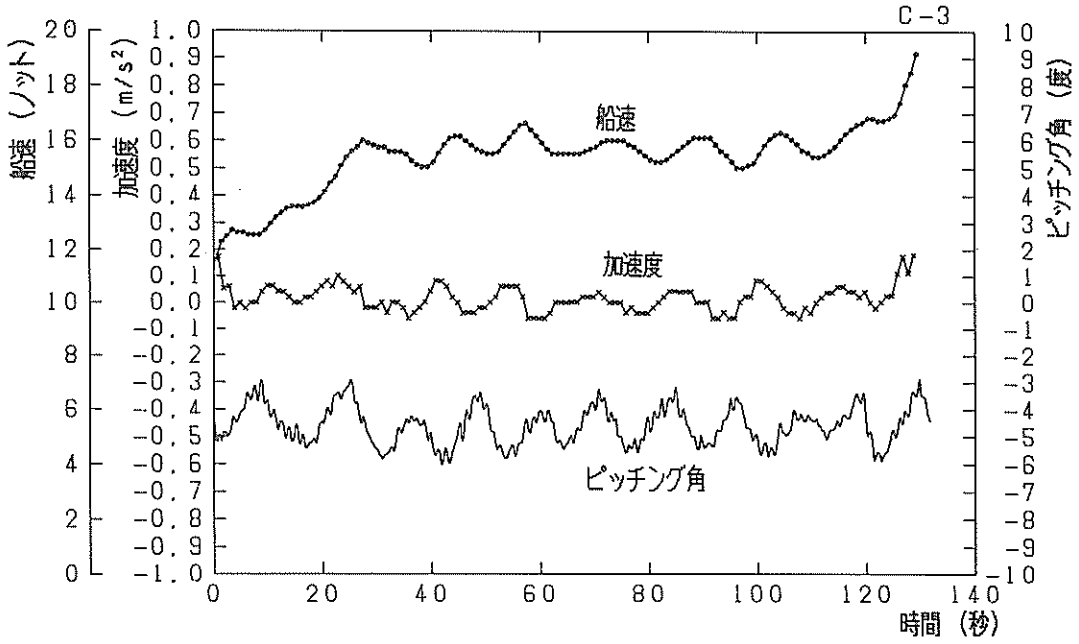


図-17.3

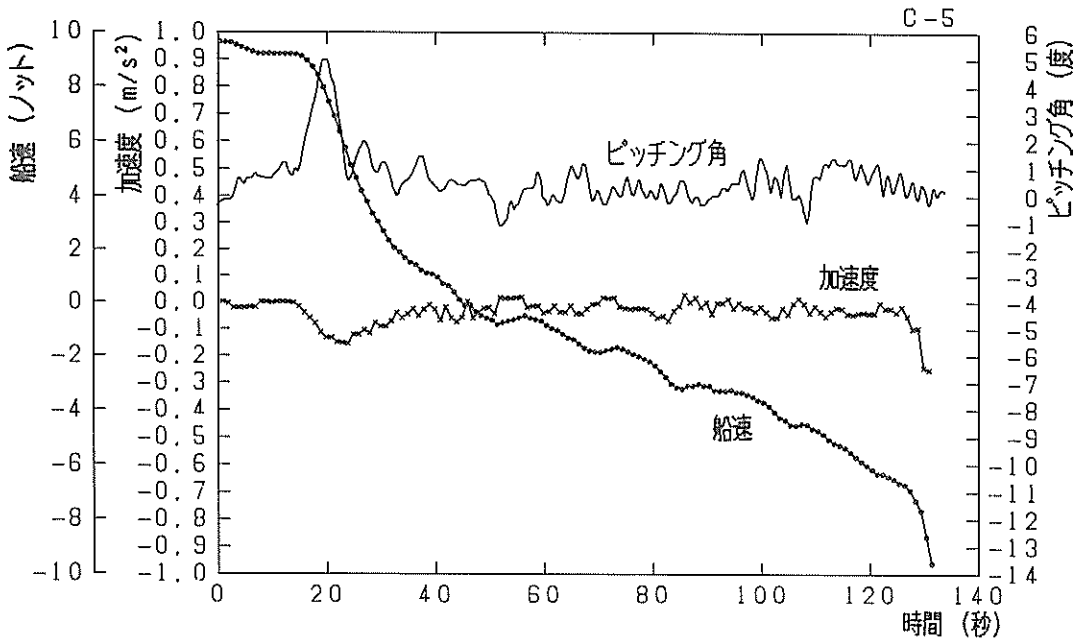


図-17.4

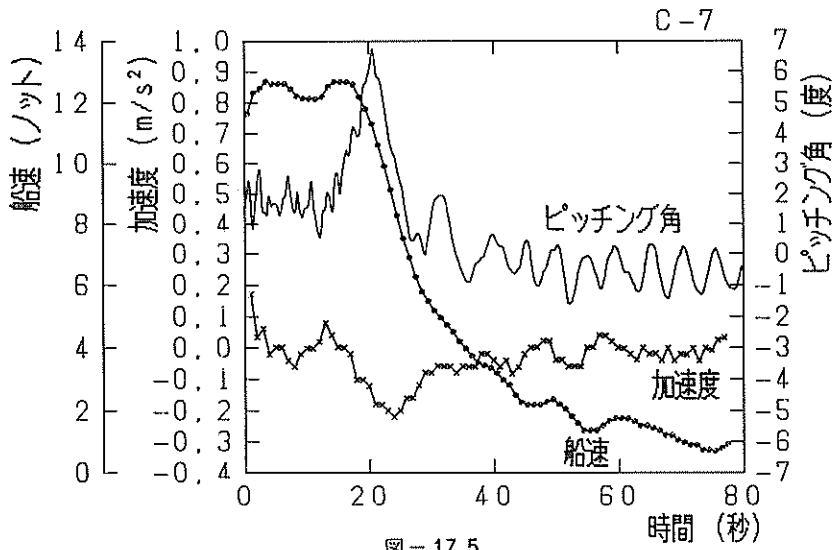


図-17.5

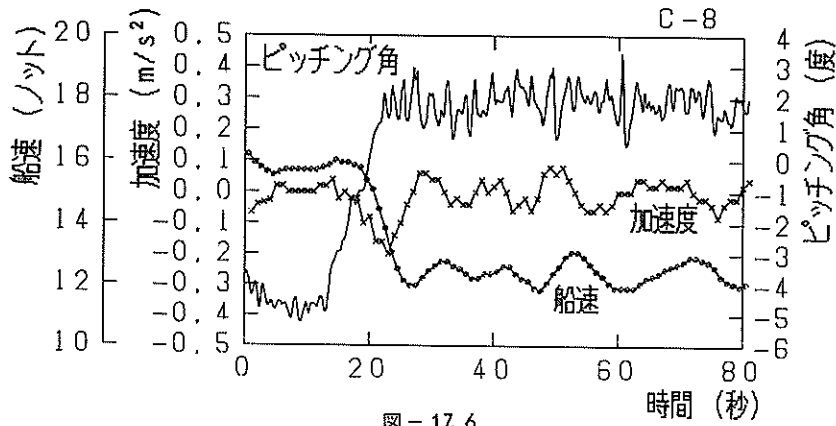


図-17.6

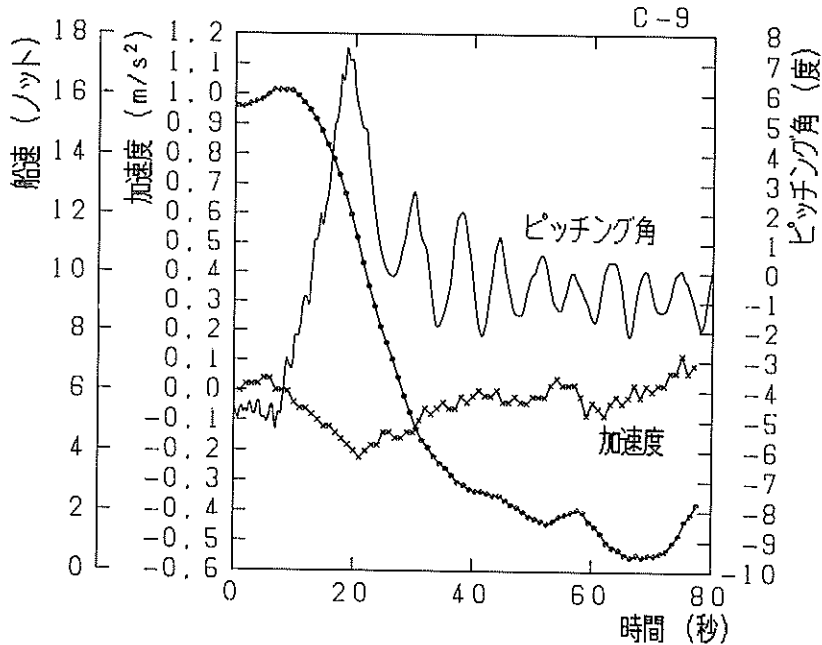


図-17.7

(4) 航行中減速

航行中に減速する試験は試験番号C-8であり、その測定結果を図-17.6に示す。プロペラのピッチ角は一定として機関回転数だけを減少させ、船速を17ノットから13ノットに減少させた。

図-17.6を見ると、船速が減少する前にピッチング角が変化しはじめておりピッチング角はピークを持っていない。これは推力の変化によるピッチング角の変化のピークが出る方向と、船速の変化によるピッチング角の変化の方向が等しいためであると考えられる。

加速度はピークを持っており、航行中の機関回転数の減少による減速の割合は、増速の場合より大きいことがわかる。

(5) 前進状態から後進状態

前進状態から後進状態に移る試験は試験番号C-5であり、その測定結果を図-17.4に示す。機関回転数は一定としてプロペラのピッチ角だけを変化させ、船速を10ノットから-10ノットに変化させた。プロペラのピッチ角は10度から-10度に変化させる予定であったが、手違いから実際にはいったん10度から-5度に変化させ、その後-10度に変化させている。

図-17.4を見ると、船速が変化する前にピッチング角

が変化しはじめており、ピッチング角はピークを持っている。船速が正から負になるとともにピッチング角の周期が短くなっている。これは、前進状態のときは追波状態であるが、後進状態になると船体の進行方向に対しては向波状態になるためであると考えられる。

5. 考 察

4.1で述べたように“おとり”は粘性係数が非常に小さく固有周期が長いという特徴を有していることがわかった。このため、波浪による外力を受けにくい、波の周期と船体動揺の周期が同調した場合、粘性係数が小さいため動揺振幅が一般の船形の場合よりも大きくなることが考えられる。

そこで周期波と単一波に対する応答を今回の試験で得た値を用いて理論的に調べてみることにした。また、フィンの迎角がトリム角に与える影響も調べた。

5.1 周期波に対する応答

式(1)をラプラス変換して伝達関数を求めると

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{M(s)} = \frac{1}{Ls^2 + Cs + K} \quad (14)$$

となる。周期波に対する応答を調べるため、式(14)のsにjωを代入して周波数伝達関数を求め、変形するとつ

図-19 単一波に対する応答の計算

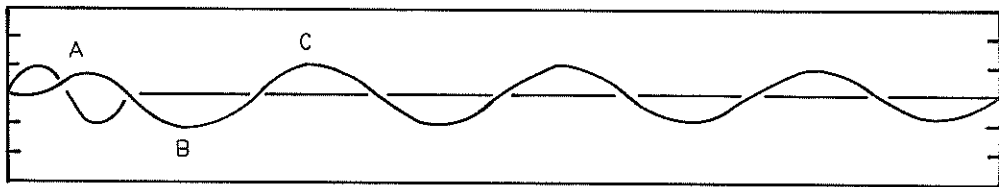


図-19.1 $W/W_0 = 1/2$

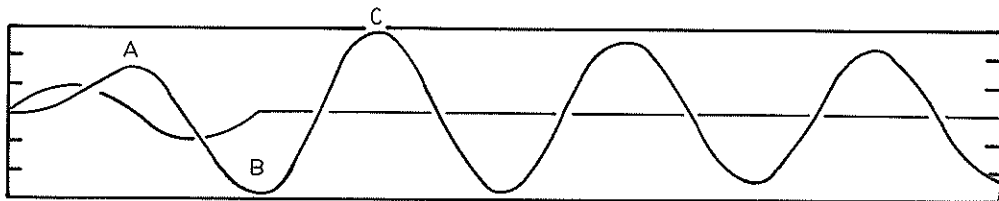


図-19.2 $W/W_0 = 1/1$

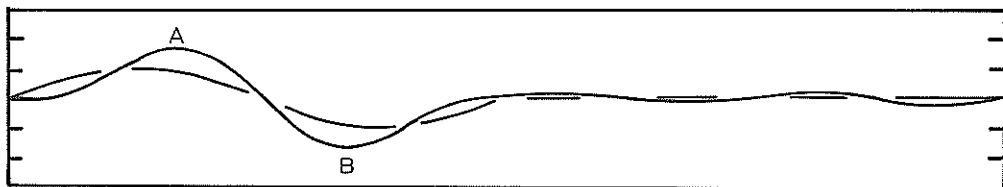


図-19.3 $W/W_0 = 2/1$

きのようになる。

$$G(j\omega) = \frac{1}{T_0^2(j\omega)^2 + 2\xi T_0(j\omega) + 1} \quad (15)$$

ただし、

$$T_0^2 = \frac{L}{K} \quad (16)$$

である。そこで、ピッチング角とモーメントの振幅比をボード線図で表わすと図-18のようになる。振幅比は、

$$20 \log \left| \frac{\theta(j\omega)}{M(j\omega)} \right| = 20 \log |G(j\omega)| \quad (17)$$

で計算される。“おとり”の場合は図-18の $\xi = 0.0174$ の場合のようになる。ただし、この値は $1/K = 1$ としたときの K の値によってグラフは上下に移動する。

一般の船型の場合は、Havelockの造波抵抗からの計算によると、 $T = 7$ のとき $\xi \omega_0 T/2 = 0.705$ というデータがある⁷⁾。このデータを用いると $\xi = 0.224$ となり、周波数応答は図-18の $\xi = 0.224$ の場合のようになる。

これらの振幅比を表-10の周期波の欄に示す。かっこの外は $\xi = 0.0174$ の場合、かっこ内は $\xi = 0.224$ の場合である。表-10によると、 $\omega/\omega_0 = 1$ である同調周波数では“おとり”は静的な場合の29.24倍のピッチング角を生じることがわかる。

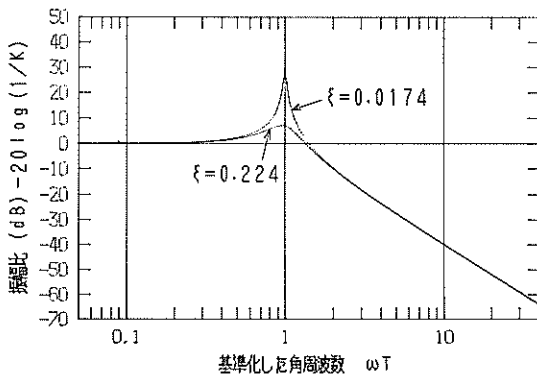


図-18 ピッチング角と角周波数の関係

5.2 単一波に対する応答

5.1で述べた同調現象は同じ周期の波が規則的に続いている場合であり、現実には生じる可能性は小さいと考えられる。

そこで、より一般的な場合を考えるため、単一波として孤立波のような一波だけの波を仮定し、これが船体を通じた場合の応答を計算してみた。

単一波の角周波数 ω を船体の固有角周波数 ω_0 に対して $1/2, 1/1, 2/1$ とした場合の結果を図-19.1~3に示し、そ

表-10 振幅比の計算結果

		ω/ω_0			
		2/1	1/1	1/2	1/4
単 一 波	A 点	0.72	1.53	1.70	1.26
	B 点	-1.13	-2.98	-1.67	-1.20
	C 点	1.08	2.83	0.11	
周期波		0.333 (0.319)	29.24 (2.23)	1.333 (1.278)	1.062 (1.059)

$\xi = 0.0174$ (かっこ内は $\xi = 0.224$)

れぞれの場合の応答波形の最初の3個のピーク値を表-10に示す。表-10によると、単一波に対する応答のうち振幅比が最大となるのは $\omega/\omega_0 = 1/1$ の場合のB点であるが、A点だけを比較すると振幅比がもっとも大きいのは $\omega/\omega_0 = 1/2$ の場合である。

これは、単一波によって生じるピッチング角の最初のピークは単一波の周期が同調周期よりも長い場合に最大になるということであり、同調周期だけではなく同調周期より長い周期の波にも注意する必要があることを示している。ただし、振幅比は周期波の場合に比べて小さいので、船速を変化させてこのような状態になっている時間を短くすれば大きな問題にはならないと考えられる。

5.3 フィンの効果

図-1に示すように“おとり”はローハルに前部2枚、後部2枚の航行姿勢制御用のフィンをもっている。今回の試験はすべて前部フィンの迎角0度、後部フィンの迎角-3度で行っているが、前部フィンの迎角を変化させた場合、“おとり”のトリム角がどのように変化するか計算してみた。

フィンに生じる揚力は次式で与えられる。

$$L = \frac{\rho}{2} v^2 S C_{L\alpha} \alpha \quad (18)$$

ただし、 L は揚力、 ρ は流体の密度、 v は流体の速度、 S はフィンの面積、 $C_{L\alpha}$ は揚力勾配、 α は迎角である。

完成図書から前部フィンは上下対称翼で $S = 1.43 \text{ m}^2$ 、 $C_{L\alpha} = 0.1$ であった。これらの値を用いて、船速12ノットで航行中に迎角 α を0度から8度に変化させた場合のフィン1枚あたりの揚力の変化を計算すると

$$L = \frac{1}{2} \times \frac{1.03}{9.8} \times (12 \times 1,852 \div 60 \div 60)^2 \times 1.43 \times 0.1 \times (8 - 0) = 2.29 \text{ (tf)} \quad (19)$$

である。満載状態とすると前部フィンの取付位置から浮面心までの距離 l は9.65mであるので、前部フィン2枚

によるトリム角の変化 θ はつぎようになる。

$$\theta = \frac{2Ll}{K} = \frac{2 \times 2.29 \times 9.65}{20.6} = 2.15(\text{度}) \quad (20)$$

同じ計算を船速17ノットの場合について行くと $\theta=4.31$ (度)となる。つまり、前部フィンの迎角を0度から8度に変化させることにより、“おおとり”のトリム角は船速12ノットの場合2.15度、船速17ノットの場合4.31度変化することになる。この結果を図-8と比較すれば、“おおとり”の前部フィンの迎角を ± 8 度の範囲内で適当な値に変化させることにより、図-8に示す船速の範囲であれば常にトリム角をほぼ0度に保つことができることがわかる。また、上下対称翼の場合、迎角を0度から8度に変化させても抗力係数はほとんど変化しない⁸⁾ので船速には影響はないと考えられる。

6. 結 論

今回の動揺試験の結果をまとめるとつぎようになる。

- 1) 船体の固有周期はピッチングの場合8.73秒、ローリングの場合13.5秒であり、一般の船形よりもかなり長い。
- 2) 船体の運動方程式を調べると、慣性2次モーメント、復原モーメントに比べて粘性係数が小さい。
- 3) 船速が12~14ノットの間で、船首トリム角、動揺角の変動、および、向波状態と追波状態による差が最大となる。
- 4) 航行中の推進力の変化により、まずピッチング角が変化し、その後、船速が変化する傾向がある。
- 5) 前部フィンの迎角を ± 8 度の範囲で変化させることにより、船速が変化してもトリム角をほぼ0度に保つことができる。

7. あとがき

今回の動揺試験で、新しい船形である半没水型双胴船の動揺特性を明らかにすることができた。とくに向波状態と追波状態による差異や、船速の影響を調べ、またフィンの迎角の変化がトリム角に与える影響を推算したことは、今後の運航方法や新造船の設計に役立つものと考えられる。

(1983年6月30日受付)

謝 辞

今回の動揺試験を行うにあたっては、第三港湾建設局機械課、神戸港工事事務所、ならびに、神戸機械整備事務所の関係者各位の多大なる協力を得たことを深く感謝するものである。

参考文献

- 1) 麻山和正・波谷洋一・岩崎峯夫・石塚浩次・東海林秀幸：監督測量船“くろしお”動揺試験報告，港湾技

研資料，No.153，1973年3月，23p.

- 2) 藤井喜一郎・東海林秀幸・岩崎峯夫・石塚浩次：監督測量船“すおう”動揺試験報告，港湾技研資料，No.167，1973年9月，21p.
- 3) 近藤基・藤井喜一郎・白鳥保夫・東海林秀幸・石塚浩次・中島忠男・監督測量船“うずしお”動揺試験報告，港湾技研資料，No.232，1976年3月，22p.
- 4) J.A.Fein・M.D.Ochi・K.K.McCreight：The Seakeeping Characteristics of a Small Waterplane Area Twin-Hull (SWATH) Ship，
- 5) 増淵正美：自動制御基礎理論，コロナ社，1964年，pp.37~39
- 6) 造船協会編：改訂船舶工学便覧（第一分冊），コロナ社，1960年，pp.622~623
- 7) 元良誠三：船体運動力学，共立出版，1967年，pp.117~118
- 8) 藤本武助：流体の力学と流体機械，養賢堂，1962年，pp.157~159

港湾技研資料 No.466

1983・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.