

## 外洋フェリーの運動性能に関する研究

(第2報) フィンスタビライザーの効果及び  
実船の横揺特性に関する実船試験

小川 陽弘\*・渡辺 巖\*・福田由美子\*\*

On the Motions of an Ocean Car Ferry

(Part II) Ship Tests on the Effectiveness of  
a Fin Stabilizer and her Roll Characteristics

By

Akihiro OGAWA, Iwao WATANABE and Yumiko FUKUDA

### Summary

In the former paper<sup>1)</sup> the results of model test and theoretical calculations on the motions of an ocean car ferry boat in oblique waves were reported. At the same time, the actual ship tests have been carried out on the same ship.

The paper presents the ship test results on the effectiveness of the fin stabilizer of lift-control type, comparing the "stand-by" and "lift-control" conditions of the fin, and on the roll characteristics of the ship, estimated by an impulsive forced oscillation technique in calm sea applying the fin stabilizer.

In the test, pitch, roll, roll rate, vertical and transverse accelerations at bow and fin lift are measured and analyzed by spectral and statistical methods.

The following conclusions are obtained from the analysis.

- (1) The fin-stabilizer has considerable effect in case of beam or quartering seas, in which the rolling of the ship becomes significant.
- (2) The fin-stabilizer has negligible effect on the vertical motions such as pitching and vertical acceleration.
- (3) It is difficult to judge the general effectiveness of the fin stabilizer quantitatively for various conditions.
- (4) The roll response function of the ship can be estimated by the impulsive forced oscillation method applying the fin-stabilizer.
- (5) In this case, the duration of the impulse and the timing of control alteration of the fin from "stand-by" to "lift-control" have considerable effect on the results.
- (6) The damping coefficient of the ship in navigation estimated by this method are  $\kappa = 0.25 \sim 0.28$ , which is a little bigger than that of model test result.

---

\* 運動性能部 \*\* 共通工学部(前運動性能部)原稿受付 昭和49年12月18日

## 目 次

1. 緒言
2. 実験の概要
  - 2.1 対象船及び航路
  - 2.2 計測項目及び計測器
3. フィンスタビライザーの効果に関する解析
  - 3.1 解析法
  - 3.2 解析結果
  - 3.3 結果の考察
    - 3.3.1 フィンの動作について
    - 3.3.2 フィンの効果の判定について
    - 3.3.3 海象と動揺の関係等
  - 3.4 結論
4. フィンスタビライザーを利用した実船横揺特性の解析
  - 4.1 解析法
  - 4.2 解析結果
  - 4.3 結果の考察
  - 4.4 結論
5. 結言  
参考文献

## 1. 緒 言

外洋フェリーの航海性能に関して、第1報<sup>1)</sup>では波浪中模型実験及び理論計算を行なって比較検討した。これと並行して、同一船型の実船について航海中の動揺、加速度等を計測した。この実船には揚力制御式のフィンスタビライザーが装備されているので、その動作の有無による動揺性能の相違を比較検討し、また海上平穏時にフィンスタビライザーを利用して船を強制動揺させ、実船の横揺特性を求める実験も行なった。これらの実験の解析結果から、実船の動揺特性、フィンスタビライザーの動作及び効果等がある程度明らかになった。これについて報告する。

## 2. 実験の概要

## 2.1 対象船及び航路

実船試験の対象とした船は、前報で模型船型の選択の条件と共に述べたように、日本沿海フェリー<sup>2)</sup>の“しれとこ丸”及び同型の“えりも丸”である。両船の主要目等を Table 1 に示す。

試験は両船の東京一苦小牧航路において2往復航海について行なった。第1回は往航しれとこ丸(太田垣忠男船長)、復航えりも丸(篠原登船長)、第2回は往

Table 1 Principal Dimensions

	Shiretoko-maruru	Erimo-maruru
Length (O. A.)	153.55m	154.33m
Length (B. P.)	142.00m	142.00m
Breadth (Mld.)	22.80m	22.80m
Depth (Mld.)	8.00m	8.00m
Draft (Mld.)	6.02m	6.02m
Displacement	10,349 t	10,349 t
Gross Tonnage	7,875 ton	7,858 ton
Net Tonnage	3,751 ton	3,722 ton
Dead Weight	3,264 t	3,172 t
Main Engine : Kawasaki-MAN V9V 40/54 MCR 2×10,000 ps×430/200 rpm NR 2×8,500 ps×407 rpm		
Propeller : Kawasaki-Escherwiss 4B-1230×2 Dia. 3,850mm×Pitch 3,850mm (Variable)		
Classification : JG-Coasting Service Service Speed : 20.3 kt Service Distance : 2,800 n. m.		
Passenger	761 p.	761 p.
Complement	61 p.	63 p.
Truck	114 sets	114 sets
Car	110 sets	115 sets
Fin Stabilizer : Sperry Gyro Fin Stabilizer Type 3-C		

Table 2 Tested Conditions

	1st Test		2nd Test	
	Shiretoko	Erimo	Erimo	Shiretoko
Passenger	151 p.	404 p.	38 p.	102 p.
Truck	85	67	71	78
Car	45	42	13	23
Draft(Fore)	5.65m	6.10m	5.59m	6.07m
Draft(Aft)	6.15m	6.22m	6.43m	6.10m
Draft(Mean)	5.90m	6.16m	6.01m	6.09m
Mean Speed	19kt	18.5kt	19kt	18.5kt

航えりも丸、復航しれとこ丸である。両船の試験時の状態を Table 2 に示す。いずれの場合も、前報の模型船の実験状態に比較的近くなっている。

第1回往航時の天候は、日本全体が高気圧におおわれ、ほとんど晴れで無風の状態であった。復航時は前半やはり好天が続いたが、後半になって本州南東海上

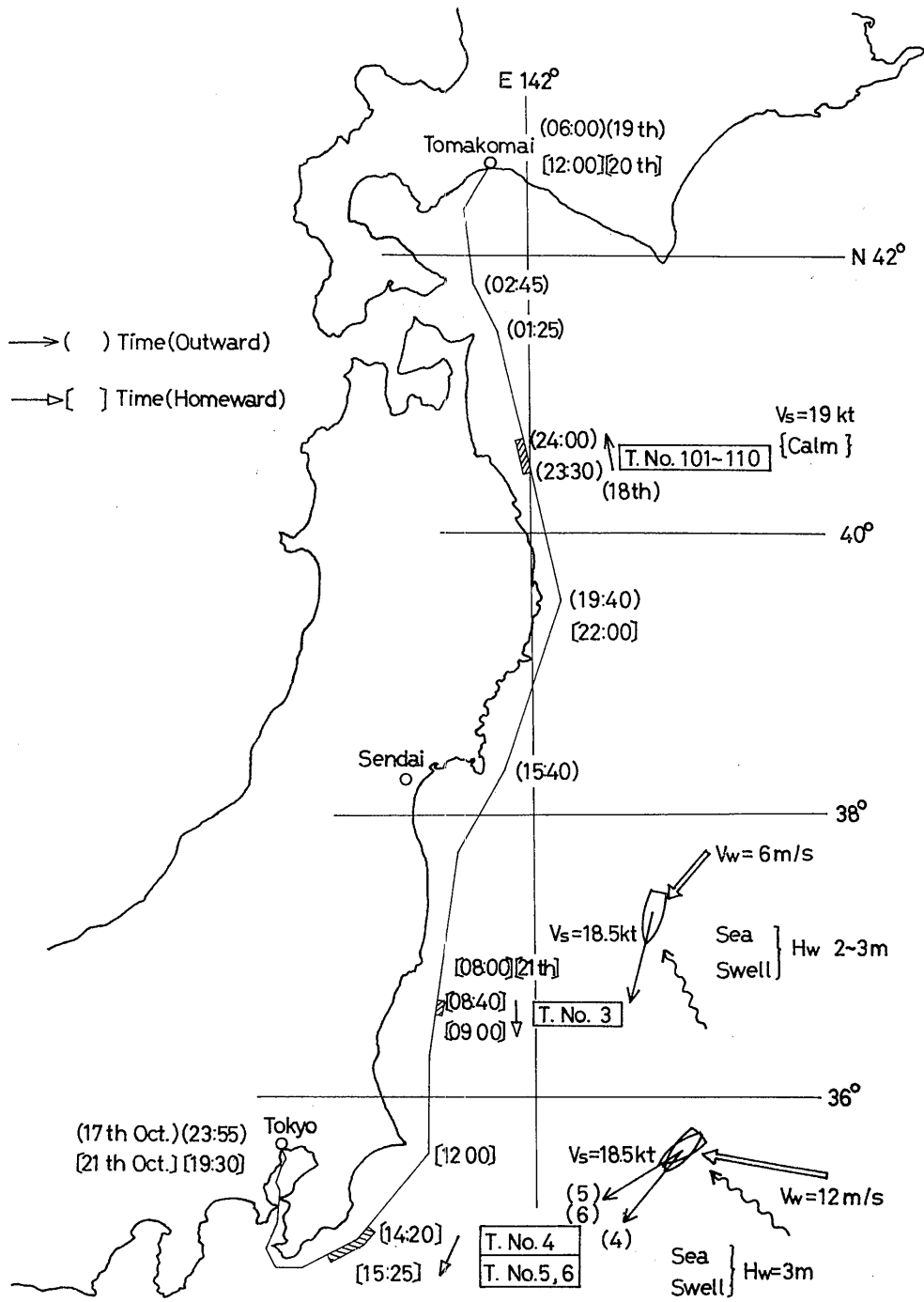


Fig. 1 Tested route and sea conditions at the 1st test

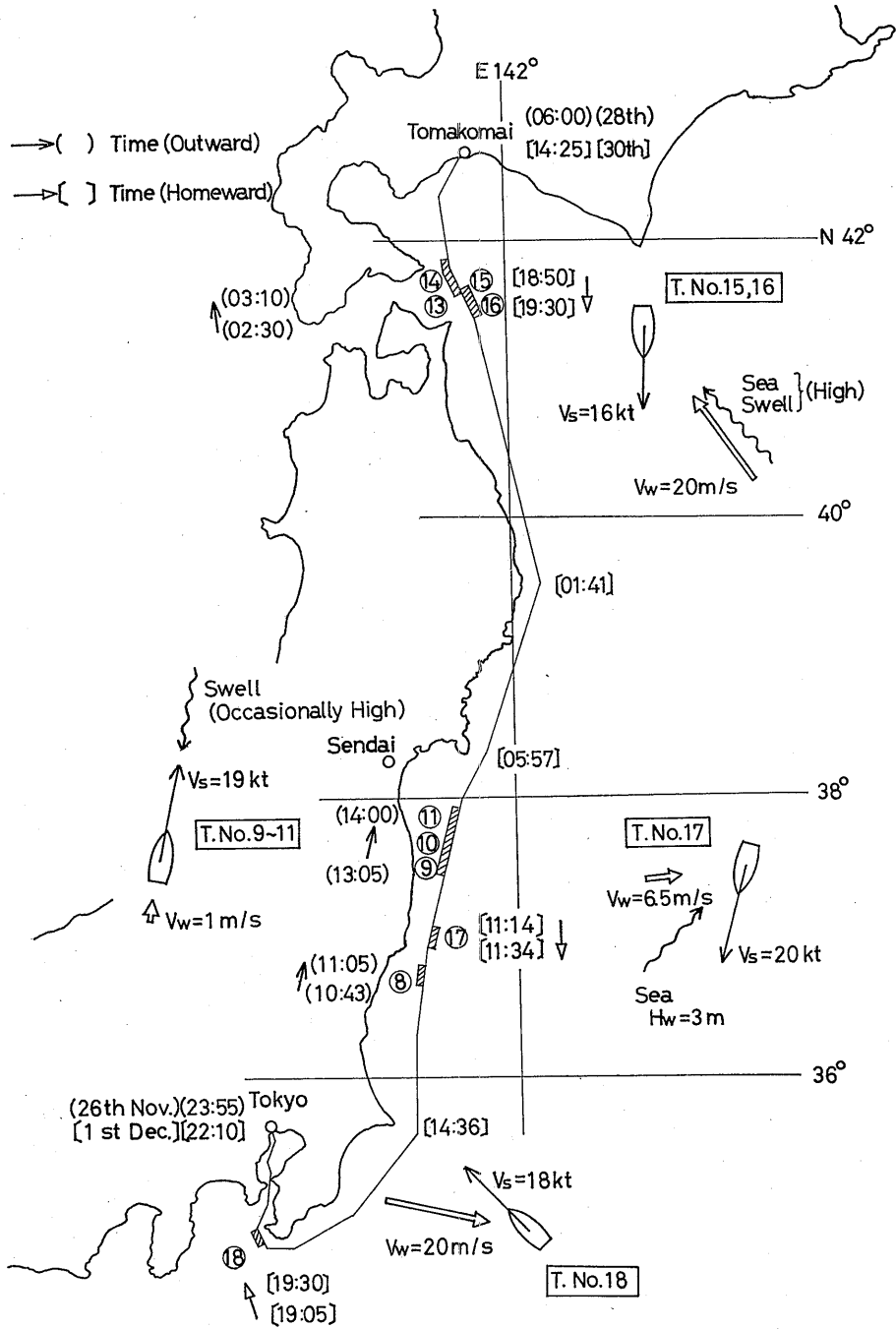


Fig. 2 Tested route and sea conditions at the 2nd test

の低気圧の影響で、やや風波が出てきた。

第2回往航時は、日本海を低気圧が北上して行くのに合わせて航行して行くような形になったため、天気は次第に下り坂で、やや波が高い状況であった。復航時も別の低気圧が発達しながら日本海を東進し、北海道を通過するときで、全般に風が強く、波がやや高い状態であった。

実験時の航路及び海象等の状況を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。夜間、三陸沖では漁船が多く出漁しており、しばしば針路変更をすることがあって、連続した計測はしても意味がないような状況であった。

## 2.2 計測項目及び計測器

計測した項目は、第1回実験時がフィン揚力、フィン角度、ロール角、ロール角速度であり、第2回がロール角、ピッチ角、船首上下加速度、船首左右加速度である。記録は原則として統計解析に必要な最低の長さで、かつ環境条件や船の針路・速度等が変化せず、連続した状態を保持していると見なせる時間として、約20分間の連続記録を1データとして取り、全項目を4チャンネルのカセット式アナログデータレコーダーに記録した。但し、第4節の横揺特性の実験では、過渡的な応答を記録すれば足りるので、1実験当たり数十秒間の記録で足りている。

第1回実験のときはピッチ角も計測しており、これ

はデータレコーダーには記録されていないが、直視式電磁オシロには他の4項目と同時に記録されている。第2回の時の記録にはデータレコーダーのみを使用し、電磁オシロは用いていない。これら計測項目、計測器、記録器の構成を Fig. 3 に示す。

計測器は第1回はフィンスタビライザーの制御装置から信号をとる関係でエンジンコントロールルーム内に、第2回は船首加速度を計測するためにカーデッキ (E deck) 前端の Bos'n store 内に設置し、全部の機器をコンパクトにまとめて、積み下ろし、計測等の際に出来るだけ本船の作業の妨げにならないように配慮した。計測器の船内での設置位置の概略を Fig. 4 に示す。加速度計設置位置は往航時が F. P. 後方約 2 m、センターラインより約 0.6 m 左舷寄り、復航時は F. P. 後方約 7.5 m のほぼセンターライン上である。なおフィン揚力は左舷側のものを測っている。

## 3. フィンスタビライザーの効果に関する解析

### 3.1 解析法

記録の解析は、スペクトラム解析及び統計解析によった。統計解析とは、生の時系列記録を直接集計して、平均振幅、周期等を求めるものを意味し、解析法の詳細及び理論については、すでに別の実船実験報

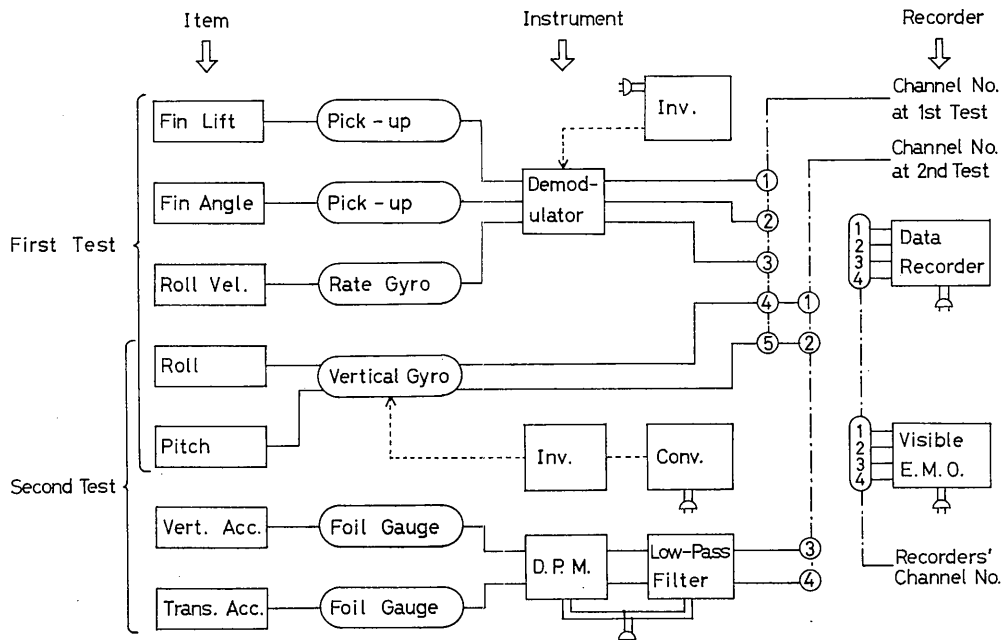


Fig. 3 Measured items, instruments and recorders

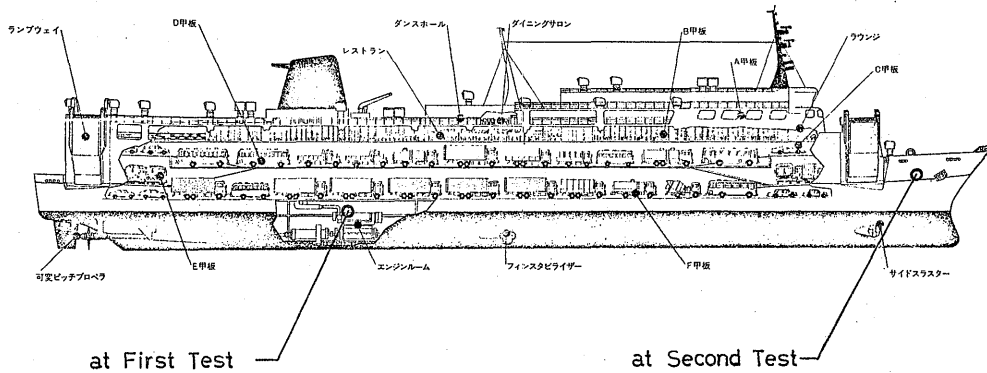


Fig. 4 Position of instruments

告<sup>2)</sup>及び計算プログラム報告<sup>3)</sup>に示してあるので、以下にはその概要を示す。

まずアナログのデータレコーダーの記録を、AD変換器によりデジタル量として紙テープに出力し、これを電子計算機で処理して解析する。サンプリングタイムはすべて1秒とし、データ数は1,000を標準としたが、沿岸近くを比較的高速で航海するために、海象が短時間のうちに変化したり、船が針路を変更したり等の理由で、十分な記録時間がとれなかった場合には、データ数ももっと少ないものもある。すべての解析はこのデジタル記録の平均値をゼロレベルとして行なっている。

スペクトラム解析では、ラグ数はデータ数によらずすべて90とし、Windowは $W_2$ を用いた。スペクトラムの分散等を求めるための積分周波数範囲は、或る低周波数領域でスペクトラムが谷になる所 $\omega_L$ から、パワーの増加がほとんどなくなる周波数 $\omega_H$ までを、計算プログラム上で自動的に選択して決めるようにした。理論的には $\omega_L=0$ 、 $\omega_H=\infty$ にとるべきであるが、波による動揺等の解析が目的なので、他の雑音と見なせる成分を除去する意味から、積分範囲を限定したものである。

統計解析では、すべてのデータをゼロクロス(両振幅の形)で解析し、その平均値、2乗平均値(標準偏差)、有義値等を計算すると共に、両振幅の頻度分布を平均値を母数とするRayleigh分布の形と比較した。またゼロクロスの平均周期及びPeak-to-peakの平均周期を求め、更にバンド幅パラメータを計算して、スペクトラム解析によるそれらの値と比較した。

### 3.2 解析結果

スペクトラム解析によって得られたスペクトラム及

びコロログラムの例をFig. 5~10に示す。Fig. 5と6は第1回試験時のもので、ほぼ同様の海象と見なせる連続した時間で、Fig. 5(T. No. 4710-5)はフィンスタビライザーをスタンバイ状態(揚力を発生しない様に制御する状態=以後S. B.と略す)にした時、Fig. 6(T. No. 4710-6)は揚力制御(以後L. C.と略す)の状態にしたときの、それぞれ上からフィン揚力、フィン角度、ロール角速度、ロール角度を示す。Fig. 7~10(T. No. 4711-10, 11, 15, 16)は第2回試験時のもので、T. No. 10と11、T. No. 15と16の各組がそれぞれ同様の条件でフィンS. B.時とL. C.時の組合せになっており、各図とも上からロール角、ピッチ角、船首上下加速度、船首左右加速度を示す。

統計解析によって得られた両振幅の頻度分布の例をFig. 11~13に示す。これらは上記のスペクトラム解析の場合と同一のデータを用いたもので、それぞれ左側がフィンS. B.時、右側がL. C.時の分布である。

船体運動に関するこれら解析値の主なものを、すべての実験番号についてTable 3~6に示す。表中の記号はTable 7に示す通りである。また表中Fin conditionの欄はフィンの状態を示すもので、T. No. 3のINとあるのは船体内に格納した状態を意味する。またこの欄で相隣の実験番号を一で結んでるのは、一応フィンS. B.とL. C.の比較の目的で連続計測したが、条件の変化等で直接比較するのが適当でないと考えられるもの、=で結んでるのは、ほぼ同一条件と見なしてS. B.とL. C.の比較が出来ると認められるものを示す(Fig. 1及びFig. 2参照)。前にFig. 5~13で示したのは、この比較が可能な場合の例である。

T. No. 4710-5 CH: 959 LN: 90 DT: 1.000 SEC

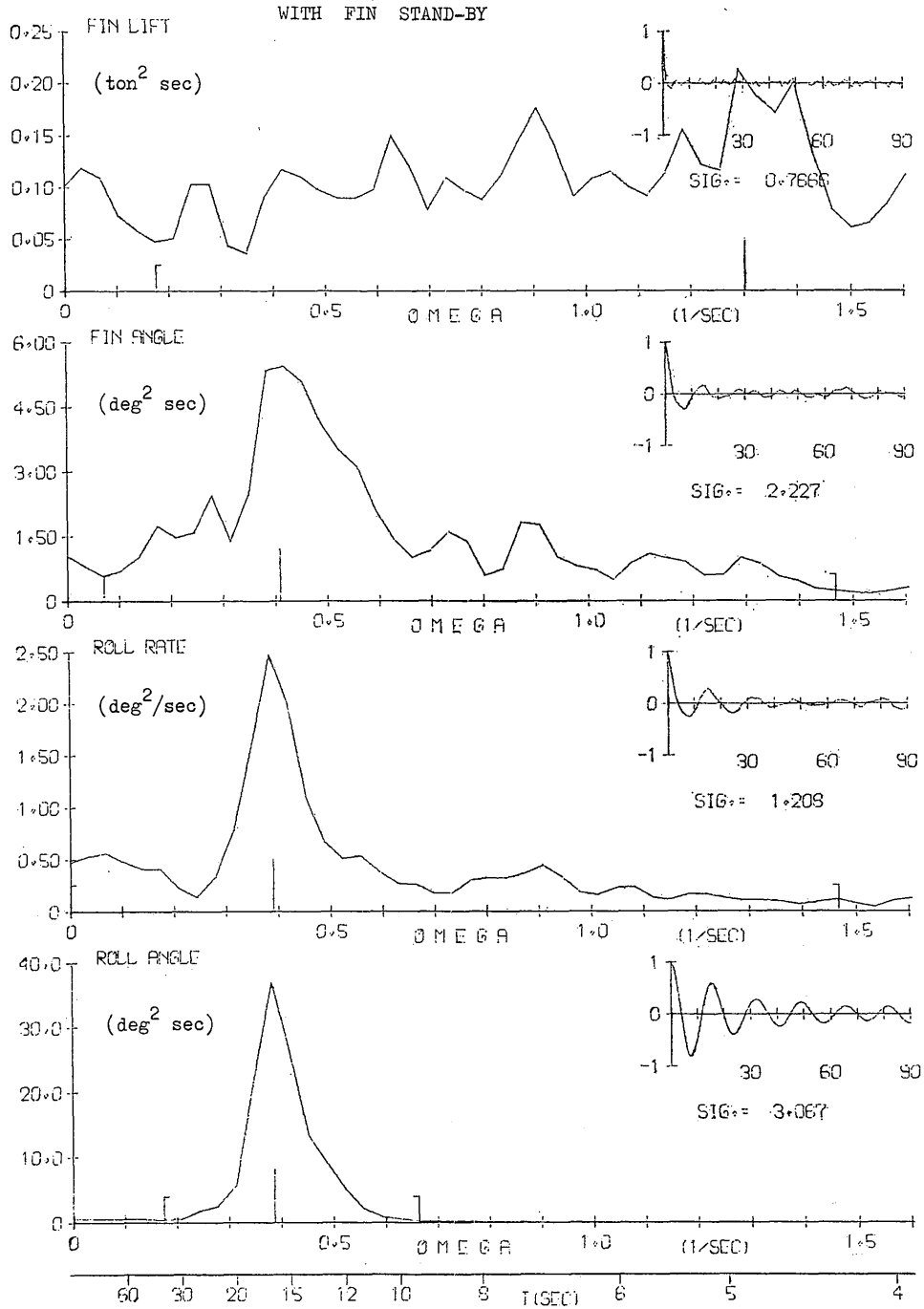


Fig. 5 Spectra and correlograms in case of fin stand-by

T. No. 4710-6

DN= 999 LN=90 DT=1.000 SEC

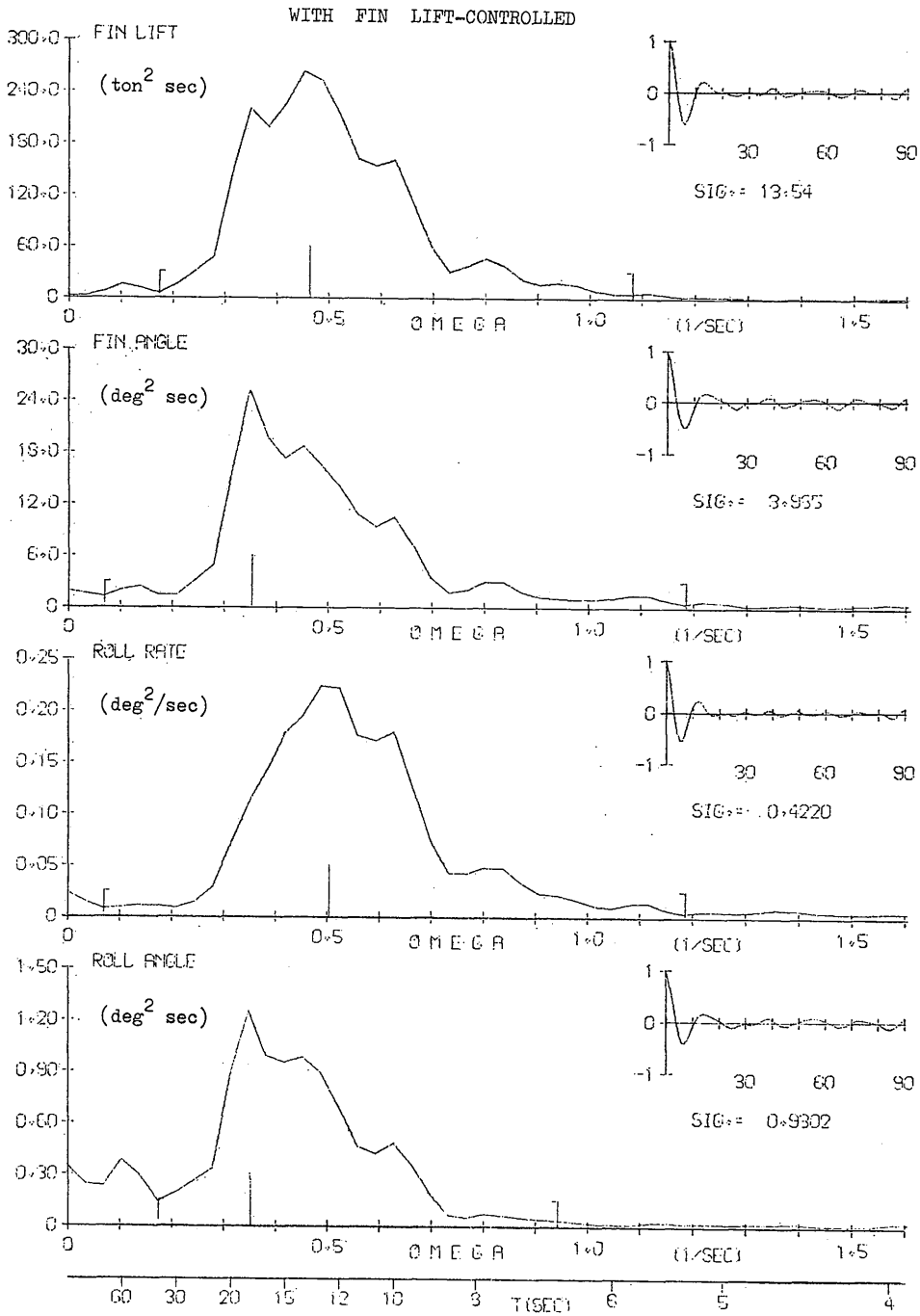


Fig. 6 Spectra and correlograms in case of fin lift-controlled



T. No. 4711-10      DN: 276    LN: 90    DT: 1.000 SEC

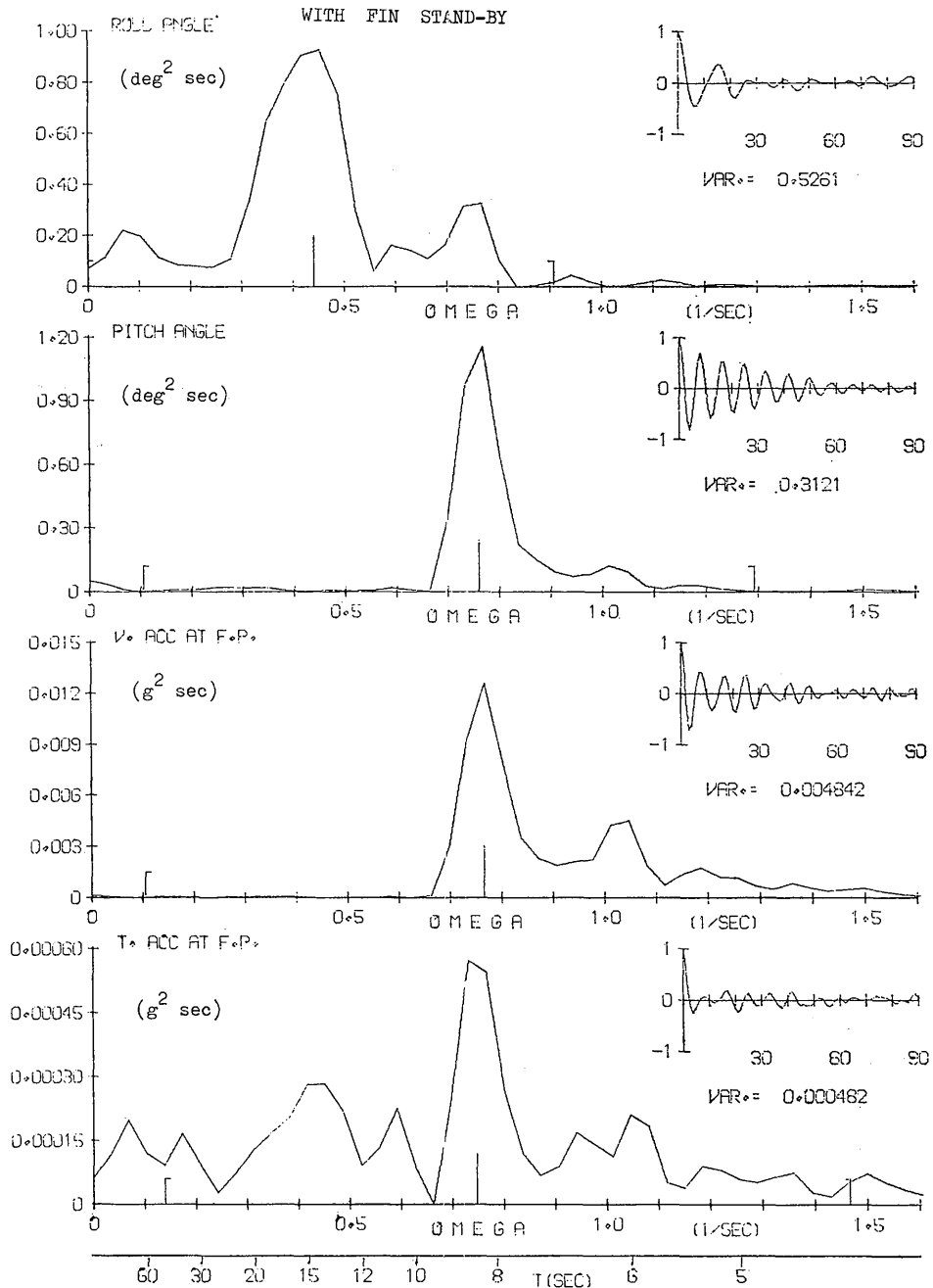


Fig. 7 Spectra and correlograms in case of fin stand-by

T. No. 4711-11      DN= 999    LN=90    DT=1.000 SEC

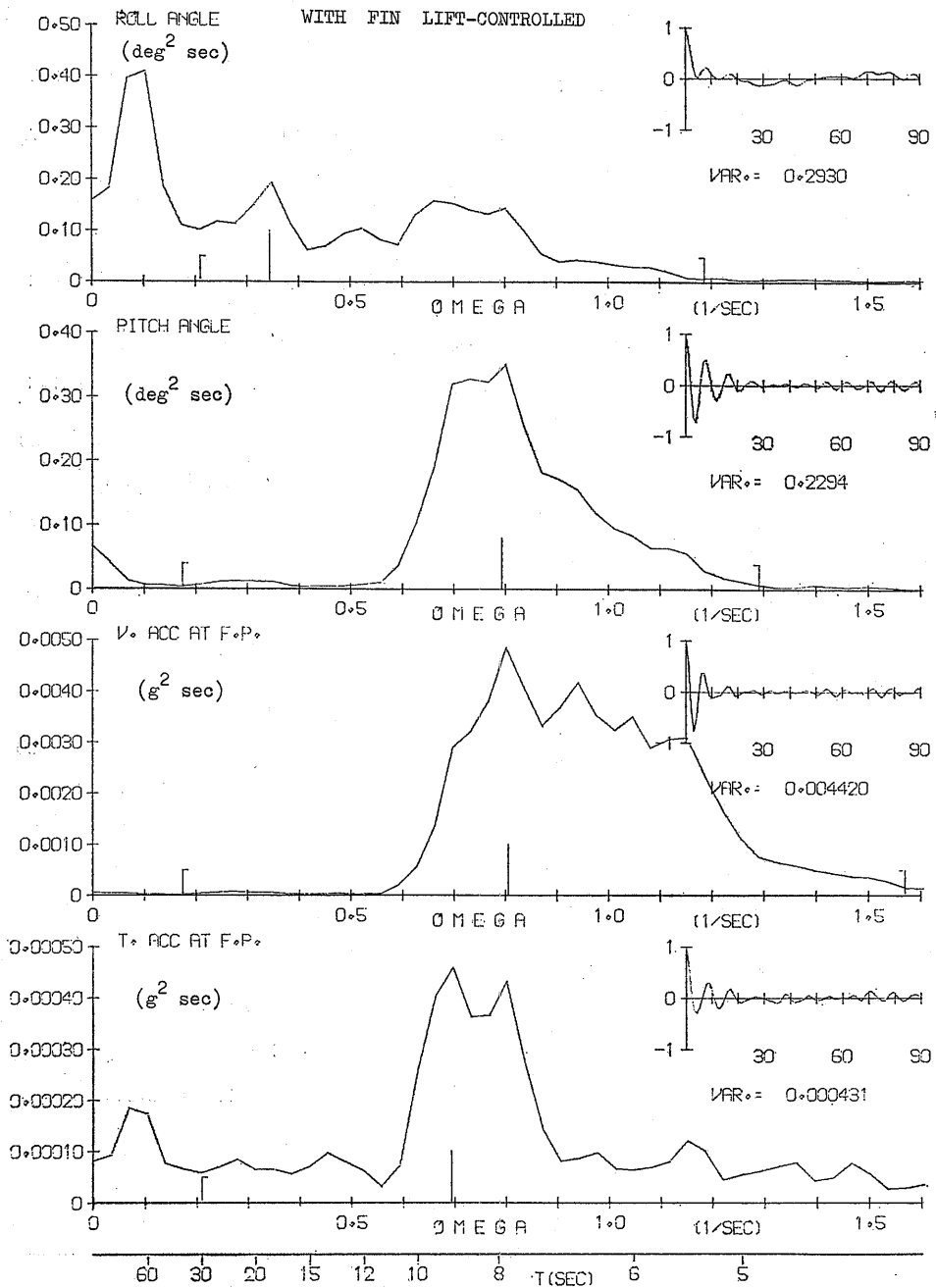


Fig. 8 Spectra and correlograms in case of fin lift-controlled

T. No. 4711-15 DN= 999 LN=90 DT=1.000 SEC

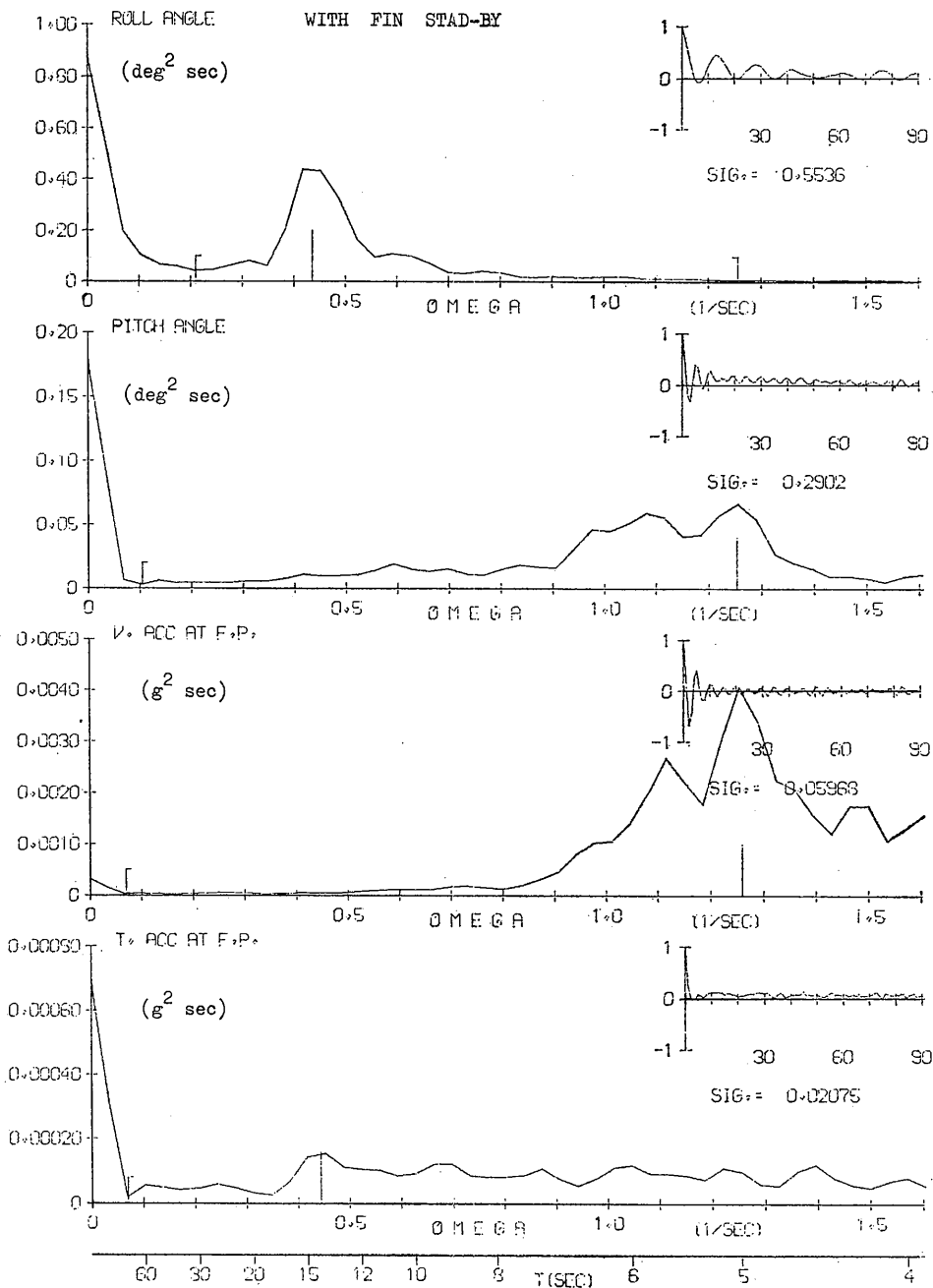


Fig. 9 Spectra and correlograms in case of fin stand-by

T. No. 4711-16 DN= 999 LN=90 DT=1.000 SEC

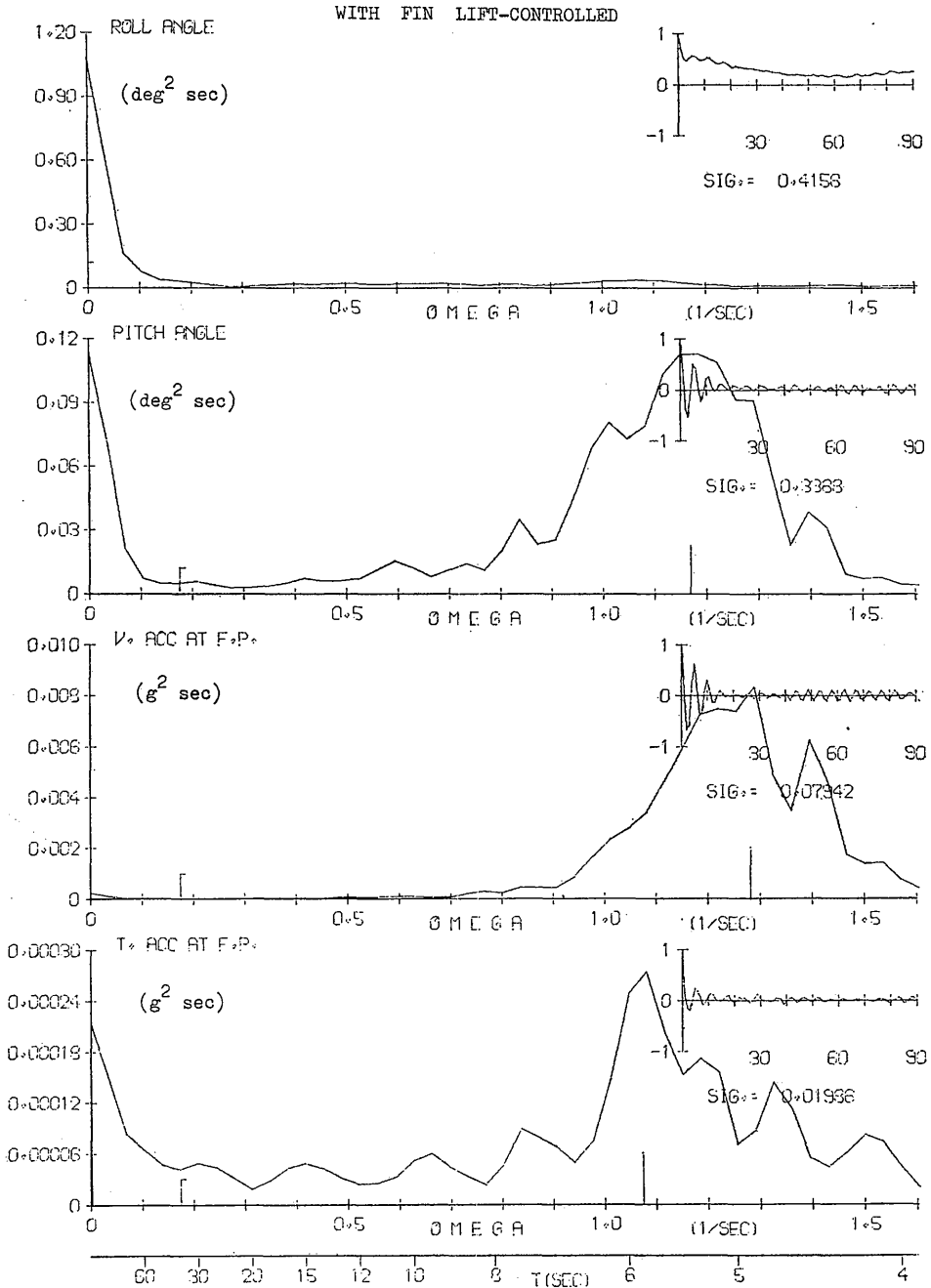


Fig. 10 Spectra and correlograms in case of fin lift-controlled

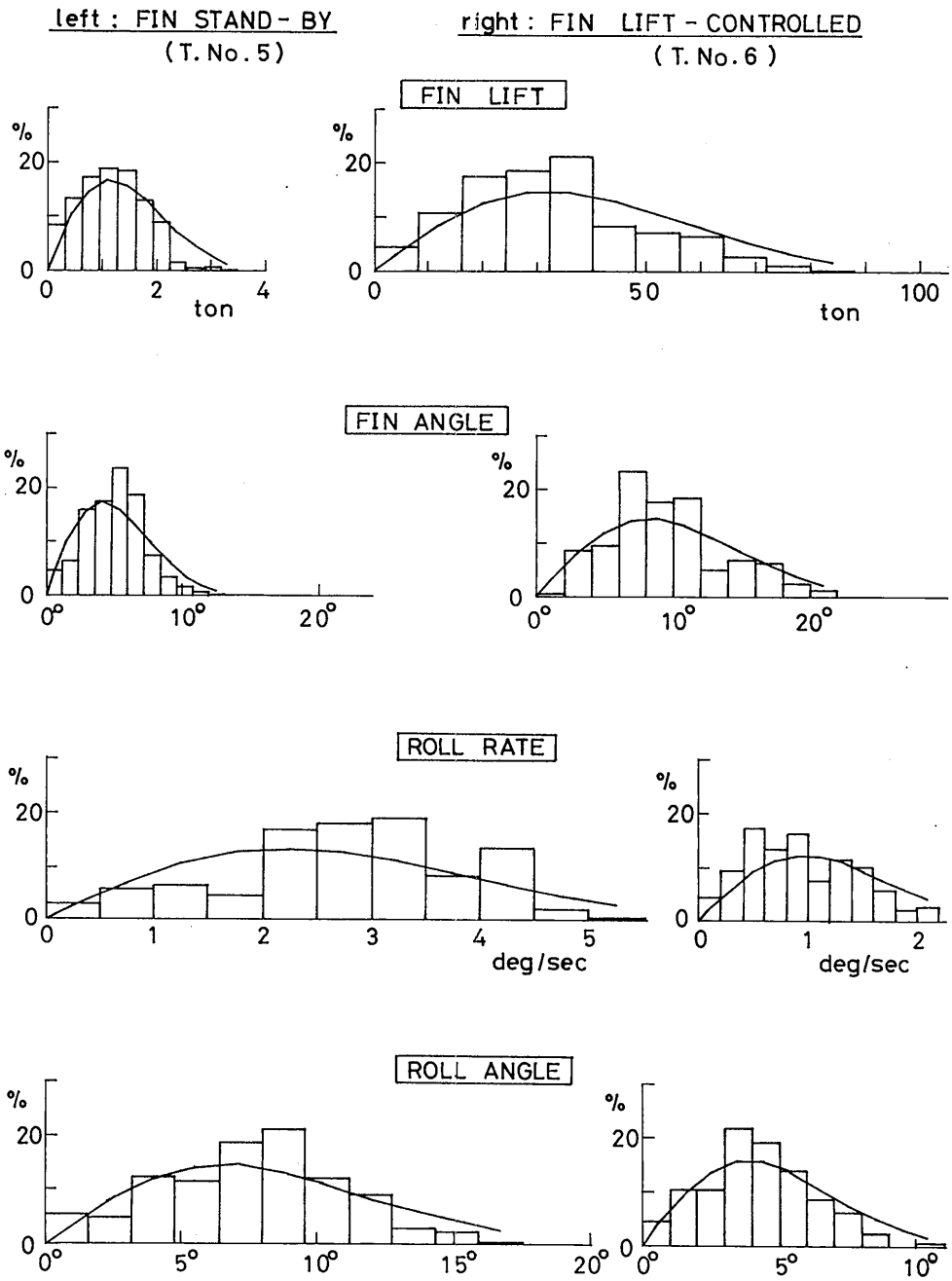


Fig. 11 Histograms and Rayleigh distributions of double amplitudes

left : FIN STAND-BY  
( T.No. 10 )

right : FIN LIFT-CONTROLLED  
( T.No. 11 )

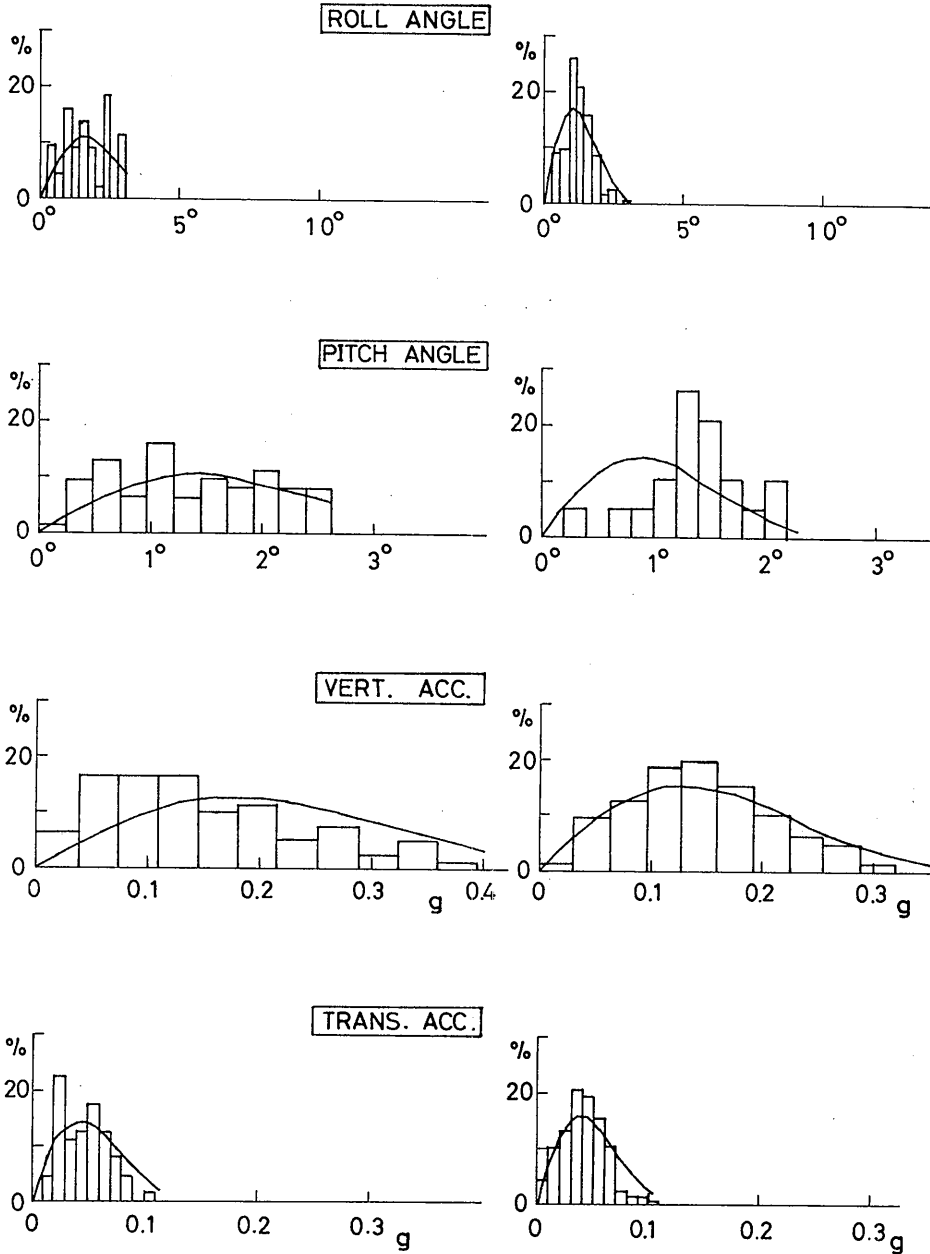


Fig. 12 Histograms and Rayleigh distributions of double amplitudes

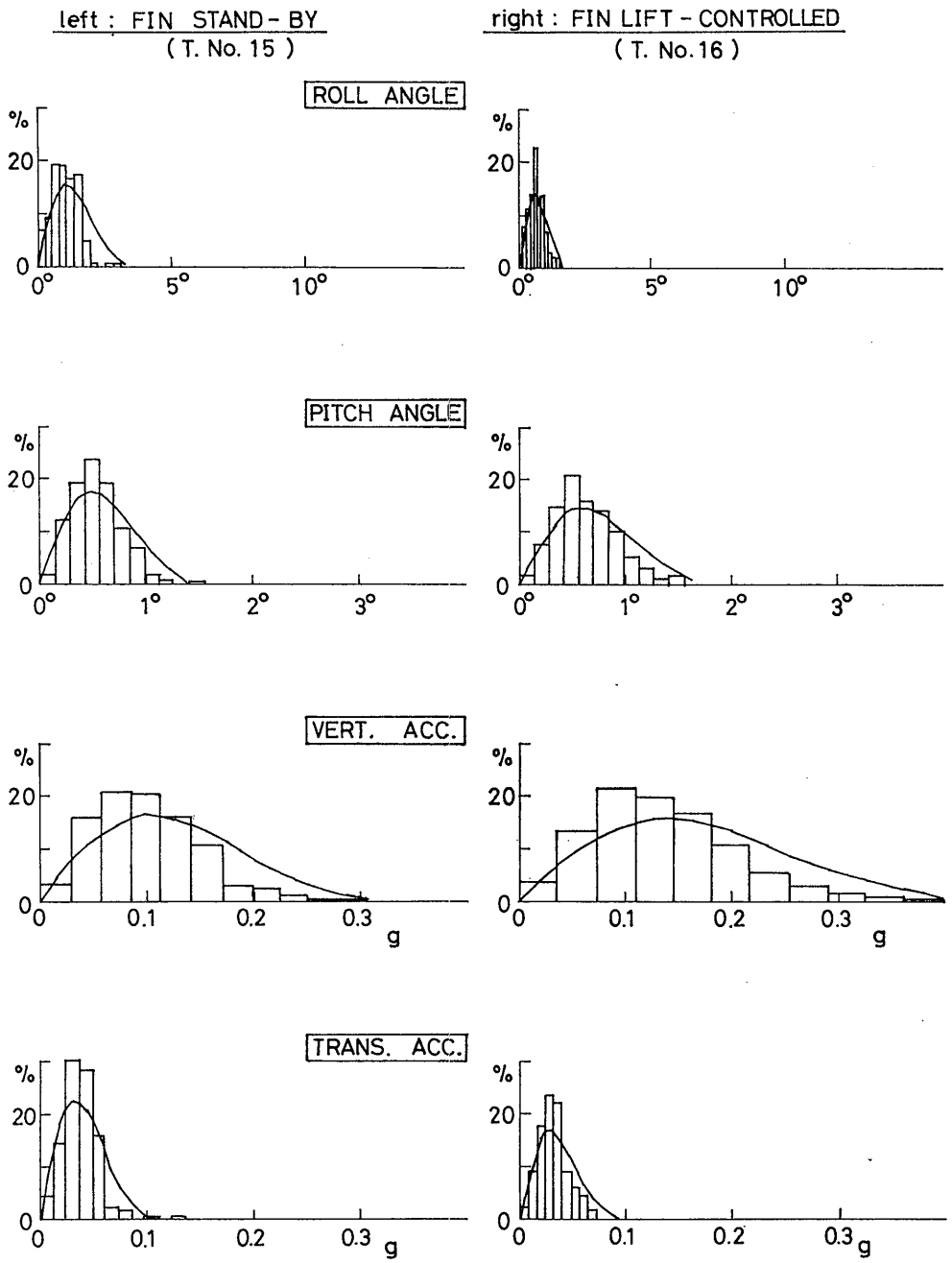


Fig. 13 Histograms and Rayleigh distributions of double amplitudes

**Table 3** Analyzed results of roll

Test No.		3	4	5	6	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18
S P E C I A L I S I S	1 No. of Data	1000	1000	1000	1000	999	960	278	999	942	960	999	999	999	390
	2 $\omega_L$	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.00	0.21	0.17	0.17	0.21	0.00	0.14	0.10
	3 $\omega_H$	0.80	1.01	0.66	0.94	1.29	1.15	0.91	1.19	0.80	0.80	1.26	1.61	1.95	0.87
	4 $\sigma_S$	0.61	0.62	2.98	0.83	0.34	0.48	0.70	0.42	3.43	0.63	0.43	0.39	0.23	1.66
	5 $\epsilon_S$	0.41	0.53	0.32	0.53	0.67	0.61	0.59	0.59	0.34	0.43	0.65	0.88	0.77	0.38
	6 $T_{mS}$	12.81	10.28	14.57	11.23	7.92	8.72	10.81	7.96	12.64	12.00	8.68	5.37	4.81	11.84
	7 $T_{02S}$	14.06	12.16	15.36	13.27	10.62	11.02	13.36	9.83	13.45	13.29	11.37	11.24	7.58	12.78
	8 $T_p$	14.88	12.08	16.25	17.86	12.18	13.20	14.28	18.26	13.39	12.25	14.24	3.39	31.92	13.98
S T A T I S T I C I A L I S I S	9 $N$	141	136	132	150	128	116	43	163	133	69	154	87	147	59
	10 $\bar{H}$	1.60	1.66	7.62	2.11	0.99	1.41	1.68	1.15	8.88	1.78	1.07	0.67	0.56	4.17
	11 $H_{rms}$	1.80	1.85	8.33	2.32	1.10	1.54	1.85	1.25	9.59	1.98	1.20	0.74	0.62	4.65
	12 $H_{1/3}$	2.52	2.56	11.26	3.22	1.55	2.13	2.61	1.69	12.87	2.75	1.66	1.02	0.87	6.57
	13 $H_{1/10}$	3.39	3.28	13.30	3.88	1.98	2.64	2.91	2.08	15.67	3.46	2.11	1.28	1.09	8.64
	14 $H_{max}$	4.35	4.99	15.73	5.07	2.74	3.47	3.01	2.80	20.35	3.69	2.92	1.47	1.64	10.40
	15 $\sigma_r$	0.64	0.65	2.95	0.82	0.39	0.55	0.65	0.44	3.39	0.70	0.42	0.26	0.22	1.64
	16 $\epsilon_r$	0.79	0.79	0.35	0.65	0.90	0.89	0.66	0.76	0.35	0.93	0.78	0.97	0.90	0.50
	17 $\bar{T}_m$	8.73	8.96	14.17	10.09	6.91	7.70	9.71	7.98	13.25	10.15	8.15	5.50	5.87	11.44
	18 $\bar{T}_0$	14.18	14.71	15.15	13.33	15.61	16.55	12.93	12.26	14.17	27.83	12.97	22.97	13.59	13.20
19 Fin Condition	I N L. C. - S. B. = L. C. L. C. L. C. = S. B. = L. C. S. B. - L. C. S. B. = L. C. L. C. S. B.														

**Table 4** Analyzed results of pitch

Test No.		8	9	10	11	13	14	15	16	17	18
S P E C I A L I S I S	1 No. of Data	999	960	278	999	942	960	999	999	999	390
	2 $\omega_L$	0.07	0.14	0.10	0.18	0.18	0.11	0.11	0.18	0.07	0.07
	3 $\omega_H$	1.33	1.33	1.29	1.29	1.15	1.01	1.78	1.64	1.40	1.68
	4 $\sigma_S$	0.40	0.42	0.55	0.46	0.70	0.48	0.26	0.31	0.40	0.39
	5 $\epsilon_S$	0.35	0.39	0.32	0.36	0.61	0.56	0.47	0.35	0.37	0.67
	6 $T_{mS}$	7.05	6.99	7.44	7.02	9.42	11.03	5.10	5.26	5.99	5.79
	7 $T_{02S}$	7.51	7.58	7.86	7.54	11.89	13.36	5.76	5.62	6.43	7.83
	8 $T_p$	7.88	9.03	8.27	7.92	12.91	17.06	5.01	5.38	6.33	10.12
S T A T I S T I C I A L I S I S	9 $N$	247	235	61	19	126	131	291	314	269	77
	10 $\bar{H}$	0.94	0.99	1.35	1.36	1.90	1.21	0.53	0.64	0.92	0.90
	11 $H_{rms}$	1.06	1.09	1.53	1.42	2.09	1.37	0.59	0.70	0.99	1.00
	12 $H_{1/3}$	1.50	1.53	2.19	1.82	2.93	1.96	0.80	0.98	1.36	1.34
	13 $H_{1/10}$	1.89	1.87	2.50	2.07	3.60	2.48	1.01	1.23	1.63	1.74
	14 $H_{max}$	2.61	2.16	2.64	2.07	3.87	2.84	1.47	1.50	2.13	2.97
	15 $\sigma_r$	0.37	0.39	0.54	0.50	0.74	0.48	0.21	0.25	0.35	0.35
	16 $\epsilon_r$	0.48	0.43	0.59	0.97	0.78	0.75	0.58	0.49	0.56	0.69
	17 $\bar{T}_m$	7.08	7.38	7.39	7.37	9.46	9.69	5.58	5.53	6.16	7.34
	18 $\bar{T}_0$	8.09	8.17	9.11	105.16	14.95	14.66	6.87	6.36	7.43	10.13
19 Fin Condition	L. C. L. C. = S. B. = L. C. S. B. - L. C. S. B. = L. C. L. C. S. B.										



**Table 5** Analyzed results of bow vertical acceleration

Test No.		8	9	10	11	13	14	15	16	17	18
S P E C T R A L A N A L Y S I S	1 No. of Data	999	960	278	999	942	960	999	999	999	390
	2 $\omega_L$	0.07	0.07	0.10	0.18	0.21	0.07	0.07	0.18	0.07	0.11
	3 $\omega_H$	1.40	1.54	1.64	1.57	1.75	2.09	2.09	1.85	1.61	1.99
	4 $\sigma_S$	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.03	0.06	0.08	0.07	0.05
	5 $\varepsilon_S$	0.35	0.40	0.44	0.39	0.53	0.69	0.38	0.29	0.27	0.47
	6 $T_{mS}$	6.31	5.93	6.01	5.89	5.60	4.63	4.29	4.74	5.53	4.47
	7 $T_{02S}$	6.72	6.45	6.70	6.40	6.63	6.36	4.65	4.96	5.74	5.06
	8 $T_p$	7.79	7.09	8.21	7.80	6.39	12.43	4.99	4.90	5.83	4.27
S T A T I S T I C I A N A L Y S I S	9 $N$	295	273	78	296	241	237	371	381	333	122
	10 $\bar{H}$	0.10	0.13	0.15	0.15	0.13	0.06	0.10	0.14	0.15	0.10
	11 $H_{rms}$	0.12	0.15	0.17	0.16	0.14	0.07	0.11	0.15	0.17	0.10
	12 $H_{1/3}$	0.17	0.20	0.25	0.22	0.19	0.10	0.15	0.22	0.23	0.14
	13 $H_{1/10}$	0.22	0.25	0.33	0.27	0.24	0.12	0.21	0.28	0.29	0.17
	14 $H_{max}$	0.31	0.29	0.37	0.31	0.35	0.15	0.29	0.37	0.36	0.25
	15 $\sigma_r$	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04
	16 $\varepsilon_r$	0.34	0.48	0.45	0.38	0.60	0.66	0.34	0.26	0.29	0.48
	17 $\bar{T}_m$	6.36	6.19	6.37	6.26	6.25	6.07	5.07	5.07	5.74	5.60
	18 $\bar{T}_0$	6.77	7.03	7.13	6.75	7.82	8.10	5.39	5.24	6.00	6.39
19 Fin Condition	L. C.	L. C. = S. B.	= L. C.	S. B. - L. C.	S. B. = L. C.	L. C.	S. B.				

**Table 6** Analyzed results of bow transverse acceleration

Test No.		8	9	10	11	13	14	15	16	17	18
S P E C T R A L A N A L Y S I S	1 No. of Data	999	960	278	999	942	960	999	999	999	390
	2 $\omega_L$	0.00	0.07	0.14	0.21	0.21	0.21	0.07	0.18	0.14	0.18
	3 $\omega_H$	1.47	1.75	1.47	1.75	1.12	2.44	3.14	3.14	2.37	1.64
	4 $\sigma_S$	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04
	5 $\varepsilon_S$	0.79	0.67	0.61	0.61	0.52	0.66	0.72	0.67	0.69	0.69
	6 $T_{mS}$	6.35	5.63	6.39	5.58	9.49	3.57	2.73	2.75	3.84	6.24
	7 $T_{02S}$	10.42	7.59	8.09	7.03	11.08	4.77	3.94	3.70	5.29	8.64
	8 $T_p$	33.34	8.99	8.40	9.06	13.04	11.94	14.17	5.85	6.31	13.39
S T A T I S T I C I A N A L Y S I S	9 $N$	63	135	63	243	122	231	237	294	166	83
	10 $\bar{H}$	0.03	0.05	0.05	0.04	0.16	0.03	0.04	0.03	0.03	0.09
	11 $H_{rms}$	0.03	0.06	0.05	0.05	0.17	0.04	0.04	0.04	0.03	0.10
	12 $H_{1/3}$	0.04	0.07	0.07	0.06	0.23	0.05	0.05	0.05	0.04	0.14
	13 $H_{1/10}$	0.04	0.09	0.09	0.08	0.28	0.06	0.07	0.06	0.05	0.18
	14 $H_{max}$	0.05	0.15	0.11	0.11	0.36	0.08	0.13	0.08	0.06	0.23
	15 $\sigma_r$	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
	16 $\varepsilon_r$	0.98	0.87	0.69	0.61	0.79	0.75	0.74	0.65	8.85	0.67
	17 $\bar{T}_m$	6.10	6.61	6.37	6.52	9.41	5.54	5.64	5.16	5.61	7.01
	18 $\bar{T}_0$	31.71	14.22	8.83	8.22	15.44	8.31	8.43	6.80	12.04	9.40
19 Fin Condition	L. C.	L. C. = S. B.	= L. C.	S. B. - L. C.	S. B. = L. C.	L. C.	S. B.				

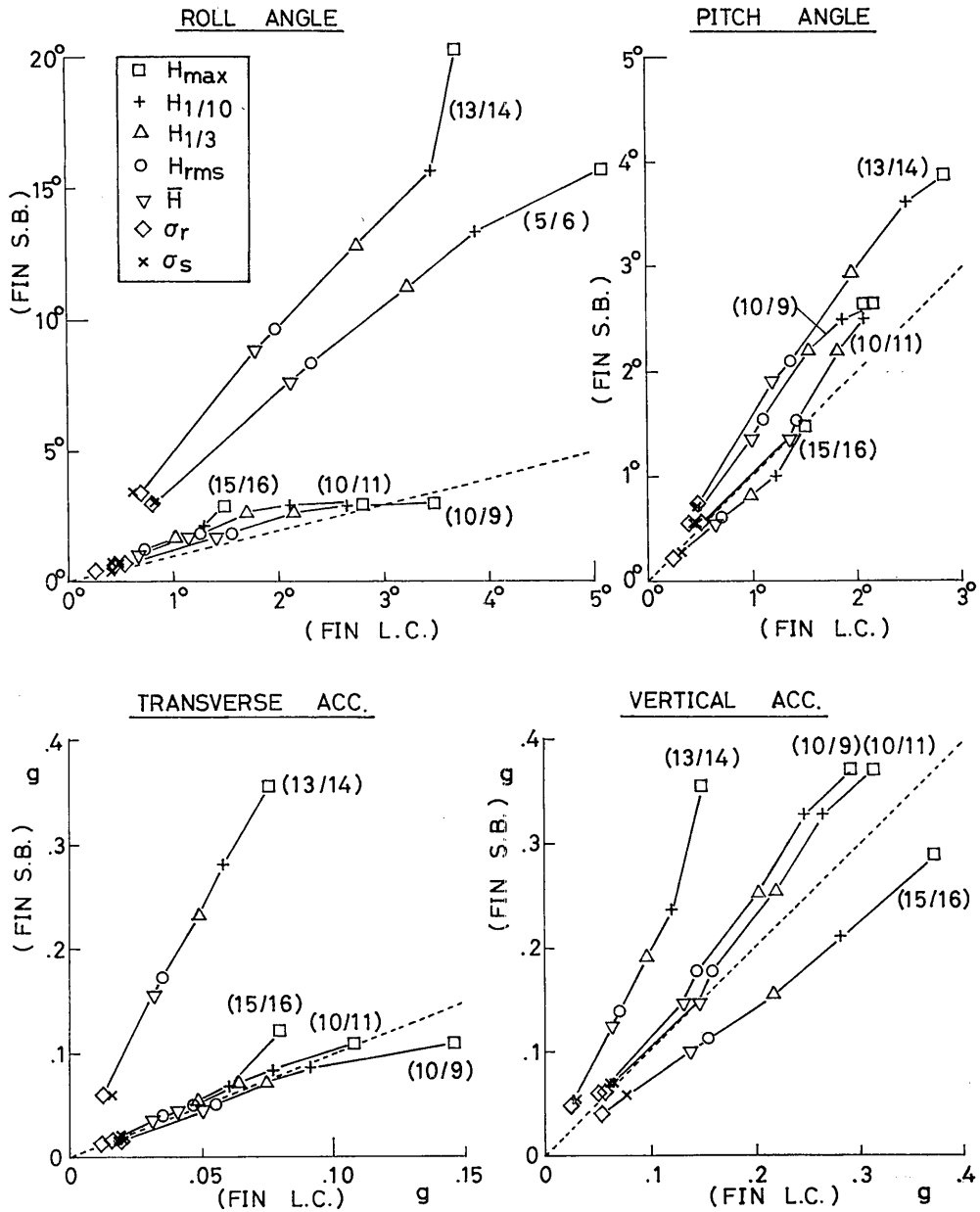


Fig. 14 Effect of fin-stabilizer upon double amplitudes

Fig. 14, 15, 16 はこれらの相互に関連のある S. B. と L. C. の組合せによって、両振幅、平均周期、バンド幅パラメータを比較したものである。図中 (5/6) 等とあるのは対応する実験番号を示す。

### 3.3 結果の考察

以上の解析結果について検討の結果、次のようなこ

とが考えられる。ただしフィンの効果の比較については、条件が揃っているという点では、T. No. 5/6, 9/10/11, 15/16のみが対象になり、最も海象の激しかった T. No. 13/14 は、実験中の海象の変化も大きかったので、同一条件として比較することはできない。また T. No. 10 ではデータ数がやや少ないという欠

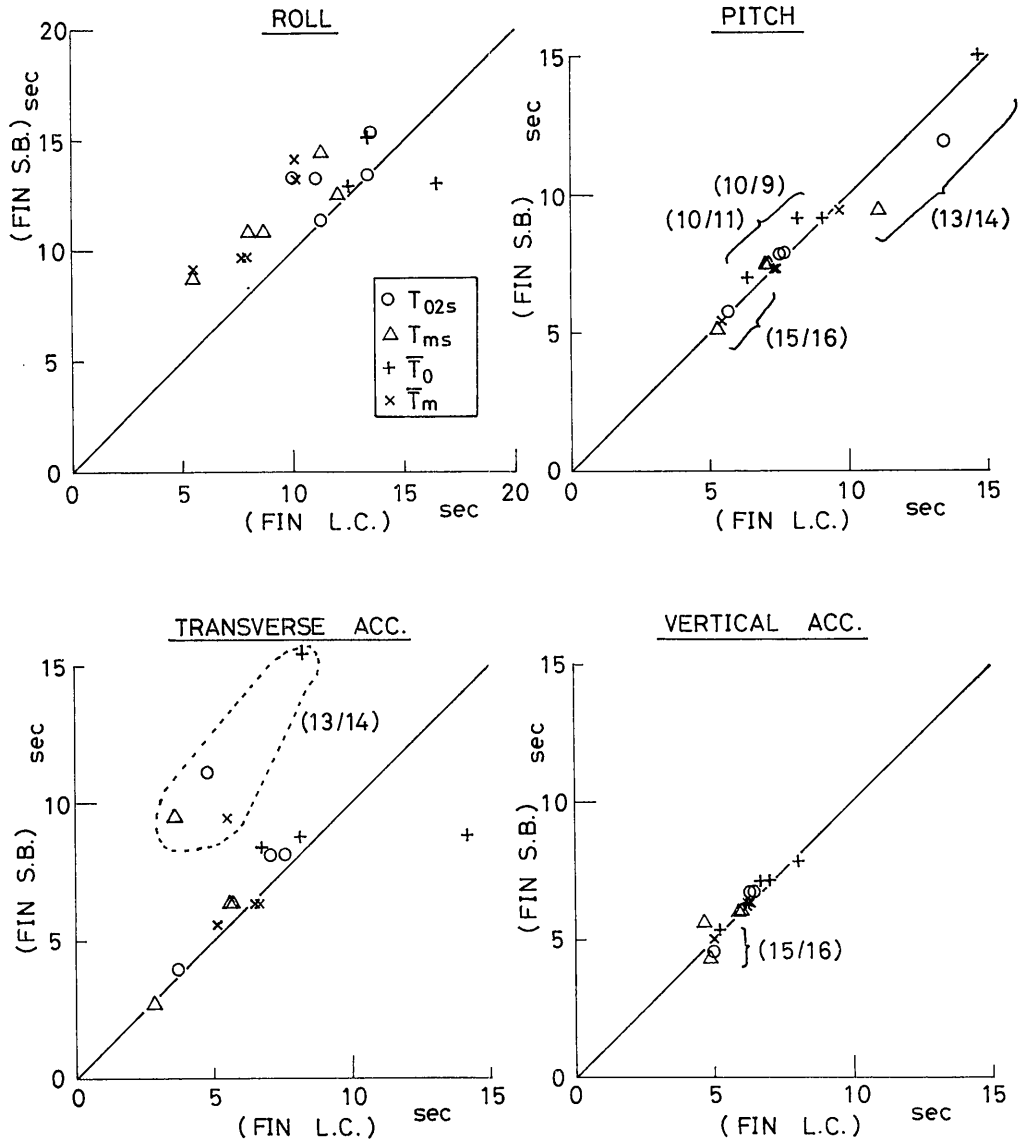


Fig. 15 Effect of fin-stabilizer upon mean periods

点があり、更に向い波でロールがもともと僅かであったということを念頭に置く必要がある。

3.3.1 フィンの動作について

フィンの動きは制御系の応答特性と入力である動揺及び波によって定まるわけであるが、それらのすべてを個々に求めることは出来ないで、ここでは全体のシステムについてのスペクトラム解析結果から推定する。

T. No. 5 (Fig. 5) ではスペクトラムやコロログラムの形からも、平均周期の数値から見ても、周期15~16秒程度の比較的規則的なロールをしていたことがわかる。スペクトラムの幅は  $\omega$  が 0.3~0.6 の範囲である。これに対して T. No. 6 (Fig. 6) のフィンを L. C. にした場合は、揚力、フィン角度ともスペクトラムの範囲は 0.3~0.7 とやや高周波数寄りに広がり、それに伴ってロール角も、勿論絶対値は小さくな

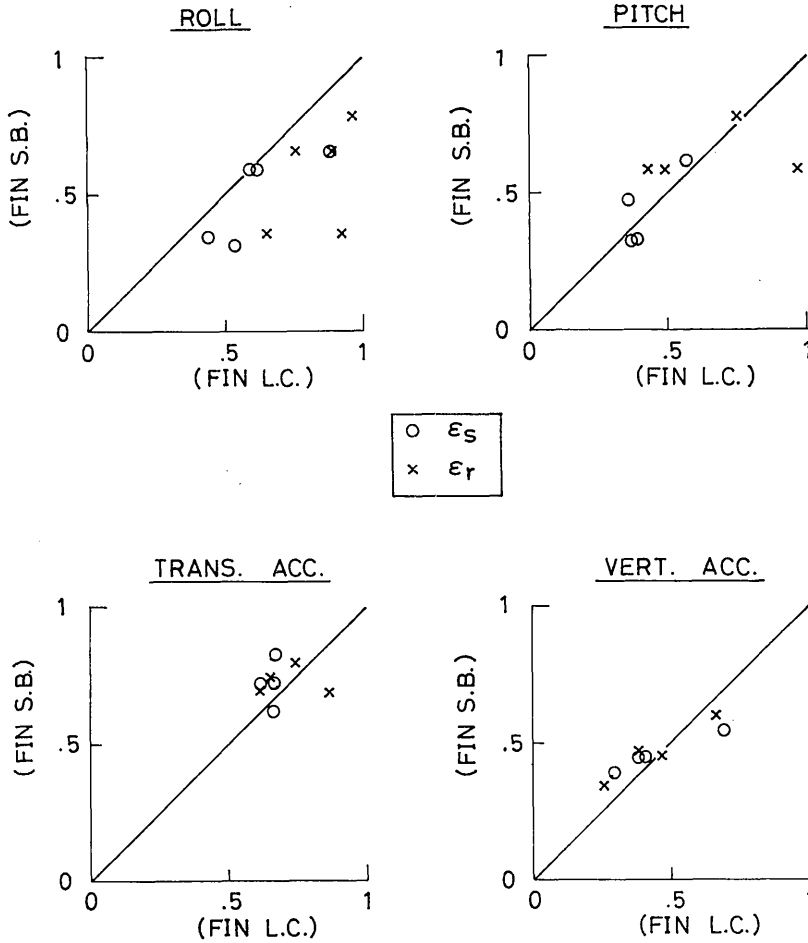


Fig. 16 Effect of fin-stabilizer upon band-width parameter

Table 7 List of symbols

Spectral Analysis :—		Statistical analysis :—	
$\omega_L$	Lower limit of integration	$N$	Number of double amplitudes
$\omega_H$	Upper limit of integration	$\bar{H}$	Mean double amplitude
$\sigma_S$	Standard deviation	$H_{rms}$	Root-mean-square of double amplitudes
$\epsilon_S$	Band-width parameter = $\sqrt{1 - m_2^2 / m_0 m_4}$	$H_{1/3}$	1/3 highest mean of double amplitudes
$T_{ms}$	Peak to peak period = $2\pi \sqrt{m_2 / m_4}$	$H_{1/10}$	1/10 highest mean of double amplitudes
$T_{02S}$	Zero cross period = $2\pi \sqrt{m_0 / m_2}$	$H_{max}$	Maximum double amplitude
$T_p$	Period of spectrum peak	$\sigma_r$	Standard deviation = $(1/2 \sqrt{2}) \cdot H_{rms}$
		$\epsilon_r$	Band-width parameter = $\sqrt{1 - (\bar{T}_m / \bar{T}_0)^2}$
		$\bar{T}_m$	Peak to peak mean period
		$\bar{T}_0$	Zero cross mean period

るが、スペクトラムの範囲は同様に広がっている。これは制御系の諸係数の設定によって変わってくるので一概には言えないが、この場合には  $\omega$  が 0.5~0.7 の範囲で、ごく僅かではあるが過剰な動きがあったと考えられる。しかし大局的に見ればフィンの動作は適切で、所定の揚力を有効に発生しており、このような海象条件でのロールの軽減には非常に効果があることがわかる。ただし他の要素、殊にピッチ、船首上下加速度に対する影響は、この実験の精度の範囲では不明であり、原理的にも影響はないと考えるのが適当である。

以上の考察は、直接フィン揚力・フィン角度を測っていない場合 (Fig. 7~10) についても当てはまる。しかしながら、今回の実験の範囲にはなかったが、揚力が制限値にまで達するような激しい海象下では、また異ったスペクトラムになることは十分考えられる。

### 3.3.2 フィンの効果の判定について

上記のロール角の  $\omega$  の広がりに関する考察は、平均周期及びバンド幅パラメータの図からも裏付けられる。平均周期では Zero-cross, Peak-to-peak とともに L. C. の方が20%前後短くなっており、バンド幅パラメータはより1に近くなって、横揺運動がガウス分布に近づくことを表わしている。即ち、ロール角を制限しようとした結果として、本来少なかった高周波成分の動揺が誘起されたか、または少なくとも高周波成分が残されたことが明らかである。

このことから直ちに推察されることは、ロール角は減少しても、ロール角速度の減り方はそれより少なく、ロールによる横加速度には更に効果が少ないということである。例えば T. No. 5/6 についてロール角と角速度とを比較して見ると Table 8 のようになる。表で、比 ①/② は前述の平均周期の増加率に相当するもので、この場合横加速度は測定されていないが、同じ比率で効果が減ると仮定すれば、ロールによる横加速度成分の減少率は④のようなになる。

Table 8 Reduction ratios of roll, roll rate and roll acceleration

S.B./L.C	① roll angle	② roll rate	③ = ①/②	④ = ②/③
$H_{max}$	3.1	2.4	1.29	1.9
$H_{1/3}$	3.5	2.6	1.35	1.9
$\bar{H}$	3.6	2.9	1.24	2.3
$\sigma_s$	3.6	2.8	1.29	2.2

現実には積載車輛等に及ぼす動揺の影響としては、上下・左右加速度の組合せが直接その役割をするわけであり、ロール角が大きいような場合にはロール周期も長いことが多く、その時の横加速度の主成分は静的な傾斜角によるものであることを考えると、フィンの効果を単純にロール角だけで表わすのは不十分であると言える。

### 3.3.3 海象と動揺の関係等

ロールが大きくなるのは横波～斜追波の時で、これは前報で示した模型実験の結果とも一致する常識的な傾向である。この場合にはフィスタビライザーを動作させると効果が明瞭に現われることは既に述べたとおりである。

斜向波ではロールはもともと少なく、その代りに出会周期でのピッチが目立ってくる。この場合にはフィスタビライザーは余り効果がない (Fig. 14 の T. No. 9/10/11 及び 15/16 参照)。ただしピッチ角は比較的少なく、船型的な特徴によるものと思われる。その代りに、斜め向波中でしばしば船体振動を記録した。これは船首加速度の記録に現われており、横加速度ではほとんど目立たないか、まれにあっては最大 0.1g 程度の軽いステップ状の加速度が 1 回だけ働くのに対して、同じ波浪衝撃に対して上下加速度の振動は20秒程度継続するのが普通である。この事から考えて、この振動は縦曲げの2節振動と思われるが、振幅も小さく、客室の方までは余り響かないようである。

航海速力は海象に対して非常にムラがあり、波による速度低下の他に、風による速度への影響も相当大きいように思われた。なお、上記計測はいずれも相当の航海速力を持った状態で行なわれたものであり、意識的減速の場合も含めて、速度低下が或る程度以上大きくなれば、フィスタビライザーの効果は激減することは当然予想されることである。

## 3.4 結論

フィスタビライザーの動作及び効果に関する以上の解析により、次の結論を得た。

- (1) フィスタビライザーの動作は概して適切である。
- (2) フィンの効果は、もともと大きなロールを生ずる可能性のある横波ないし斜追波の場合に大きい。
- (3) フィンの効果は条件によって大きく変わるので、一般的に定量化して判定するのは困難である。
- (4) フィンの作用はピッチ、上下加速度等の縦運動には影響しない。

Table 9 Fin conditions

Group	T.No.	Initial roll direction	Duration of impulsive force*	Fin cond. after impulse	Tested time (18th Oct. '72)
(A)	101	Starboard	2~3 sec	Free (zero-lift control)	11:30pm
	102	S.	"	"	33
	103	Port	"	"	37
	104	P.	"	"	40
(B)	105	S.	6~7 sec	"	43
	106	P.	"	"	47
(C)	107	S.	"	Lift control	51
	109	P.	"	"	57

\* Max. Lift = 40 ton

$V_s = 19.0$  knot, Course NNW, Calm

#### 4. フィンスタビライザーを利用した実船横揺特性の解析

##### 4.1 解析法

この実験は第1回実験の往航時に行なった (Fig. 1 の T. No. 101~110)。このとき全く海上平穏で、ロール振幅がフィンスタビライザーを使用しなくても $1^\circ$ 以下という状態であったために、予定になかったインパルス応答試験を試みたものである。

平水中を定速航行中の船体にフィンスタビライザーを利用して横揺モーメントを与える。この時の入力 (フィン揚力) の記録を  $n(t)$ 、出力 (ロール角) の記録を  $s(t)$  とし、それぞれのラプラス変換、

$$\left. \begin{aligned} N(i\omega) &= \int_0^{\infty} n(t)e^{-i\omega t} dt \\ S(i\omega) &= \int_0^{\infty} s(t)e^{-i\omega t} dt \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

を作れば、船の横揺応答関数  $R$  は、

$$R(i\omega) = \frac{S(i\omega)}{N(i\omega)} \quad (2)$$

によって求められる。

もしフィンで揚力を与える時間が非常に短かくて、単位インパルスと見なせるようであれば、

$$R(i\omega) = S(i\omega) \quad (3)$$

となる。Magnification factor として考えれば、 $Re[R(0)] = 1$  であるから、(3)式によって、特に揚力を計測しなくても  $R$  が求められることになる。

実験はこのようにして航行中の船の横揺応答関数を求めることの可能性を調べる目的で行なったものである。このためには、フィンに与えるモーメント (揚力) はできるだけ矩形波に近いものであることが望ましいが、今回は特にその準備をしていなかったため、手操

作により信号を与えた。なお類似の方法による実験については根角他<sup>1)</sup>の報告がある。

##### 4.2 解析結果

実験は3種類の方法で行なった。これは Table 9 に示すように、

(A) 比較的短かい時間だけ揚力を与えたもの。

(B) やや長い時間揚力を与えたもの。

(C) 上記のあと直ちにフィンを揚力制御に切替えたもの。

であり、それぞれ右方向と左方向の初期横揺モーメントを与えた。各グループの記録の例を Fig. 17(a)~(c) に示す。

解析の結果を Fig. 18~21 に示す。Fig. 18 はフィン揚力 ((1)式の  $N(i\omega)$ )、Fig. 19 はロール角 ((1)式の  $S(i\omega)$ )、Fig. 20 は応答関数 ((2)式の  $R(i\omega)$ ) のそれぞれ絶対値及び位相である。Fig. 21 は同時に計測したロール角速度から計算した横揺応答関数で、本来 Fig. 20 の結果と一致する性質のものである。これらの図のうち、グループ(C)の Fin lift (2)以外は強制モーメントによるロールが十分減衰する範囲まで (1)式の積分を行っており、グループ(C)の Fin lift (2)のみは最初に強制モーメントを与えた範囲だけ積分して求めたものである。したがって Fig. 19 のロール角以外ではグループ(C)は2種類の解析値が得られ、(2)の揚力を用いた応答関数は、近似的に“揚力制御された状態の船の応答関数”を求めていることになる。

##### 4.3 結果の考察

Fig. 19~21 のカーブの絶対値のピークの位置から、このときの船の固有周期が約14秒であったことが知れる。線型系を仮定すれば、これらのピーク値と

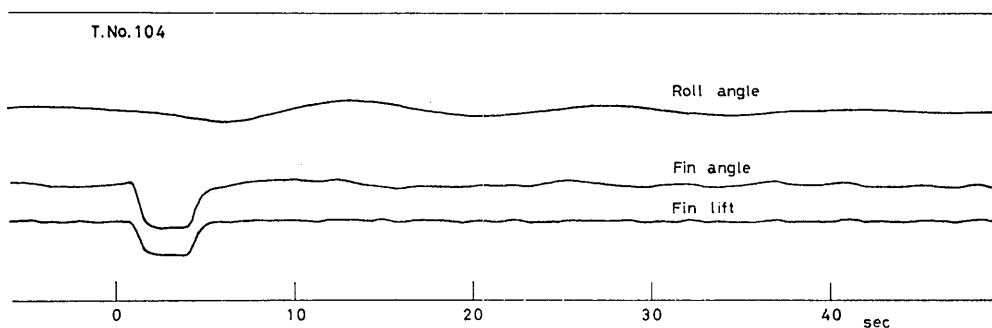


Fig. 17(a) Example of record in case of short impulse

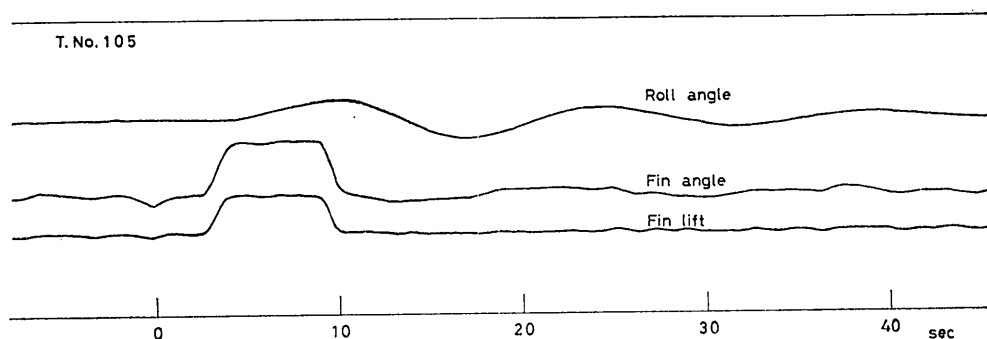


Fig. 17(b) Example of record in case of longer impulse

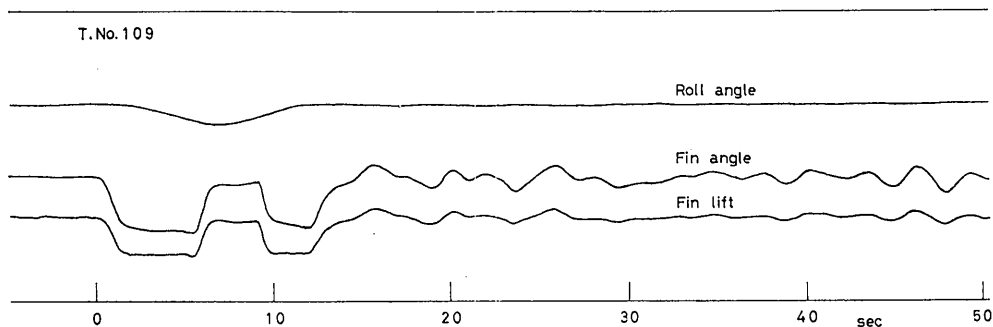


Fig. 17(c) Example of record in case of lift control started just after the impulse

$\omega \rightarrow 0$ での平均値、及び位相曲線の同調点での傾斜等から、横揺減衰係数を推定することが出来る。グループ(A)、(B)では Magnification factor が 3.5~4.0 と推定され、従って無次元減衰係数  $\kappa$  は 0.25~0.28 となり、位相曲線の傾斜からの推定値とも一致する。グループ(C)のうちの全範囲積分値からの推定では、これより小さい  $\kappa$  が得られるが、この場合には揚力の絶対

値が同調周波数付近で非常に小さくなっているので、多少信頼性は薄いと思われる。いずれにしても、模型実験から得られた対応速度で航走中の値約 0.2 に比べて少し大きい。Fig. 22 は、前報<sup>1)</sup>で示した減衰係数の模型実験値との比較で、参考のために再掲したものである。

グループ(C)のうちの揚力制御の場合の図 (Fig. 20,

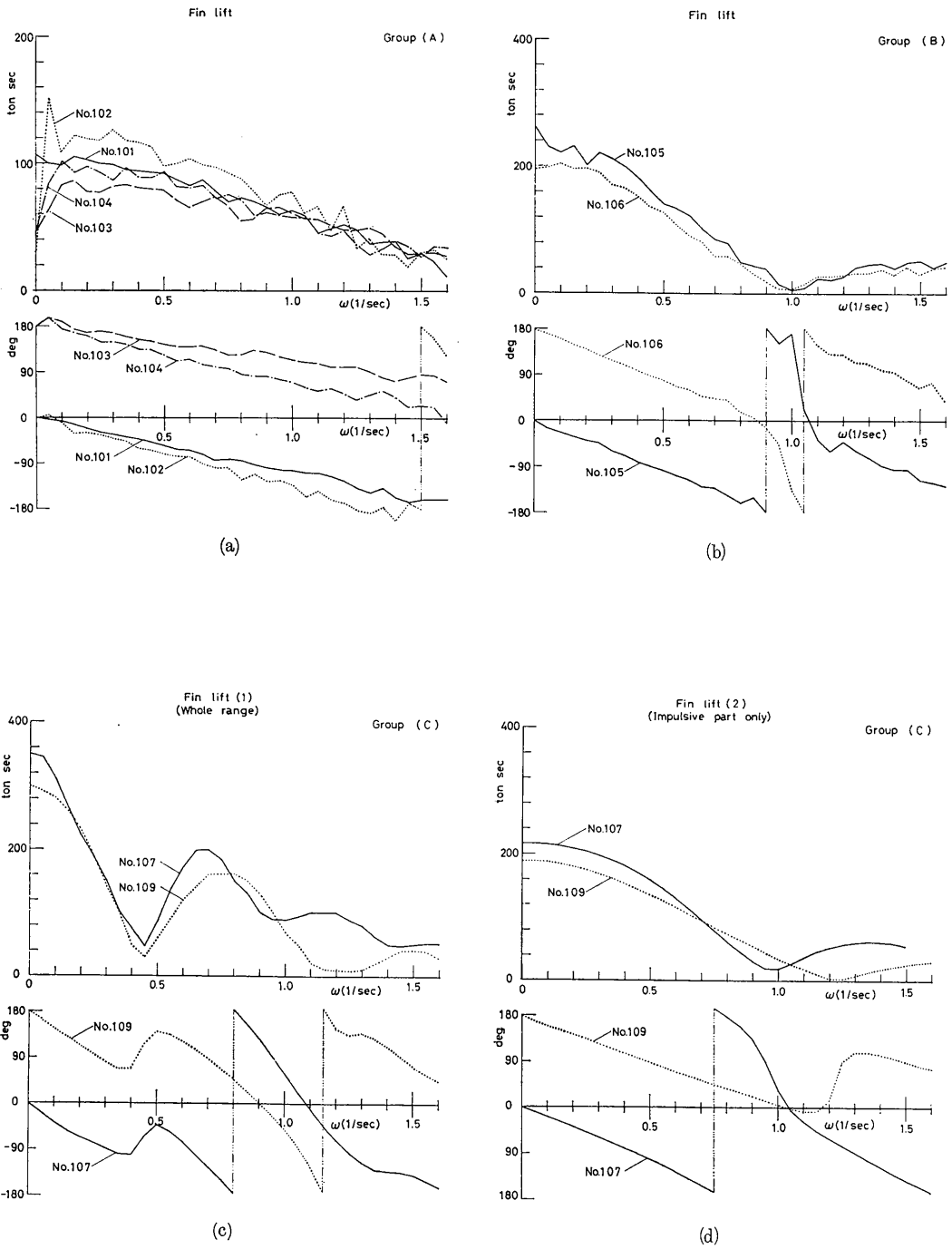


Fig. 18 Fin lift



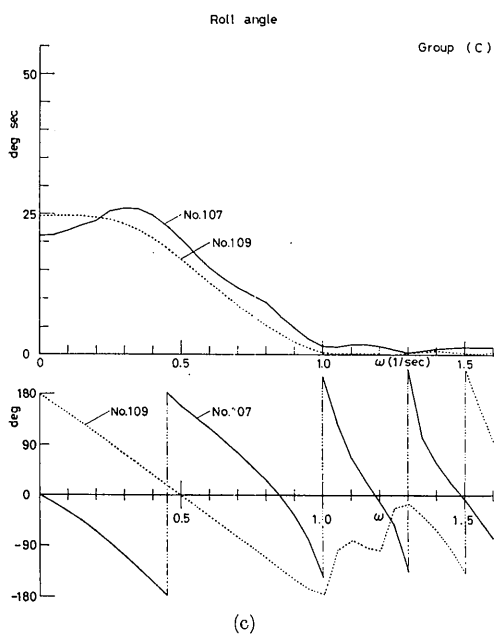
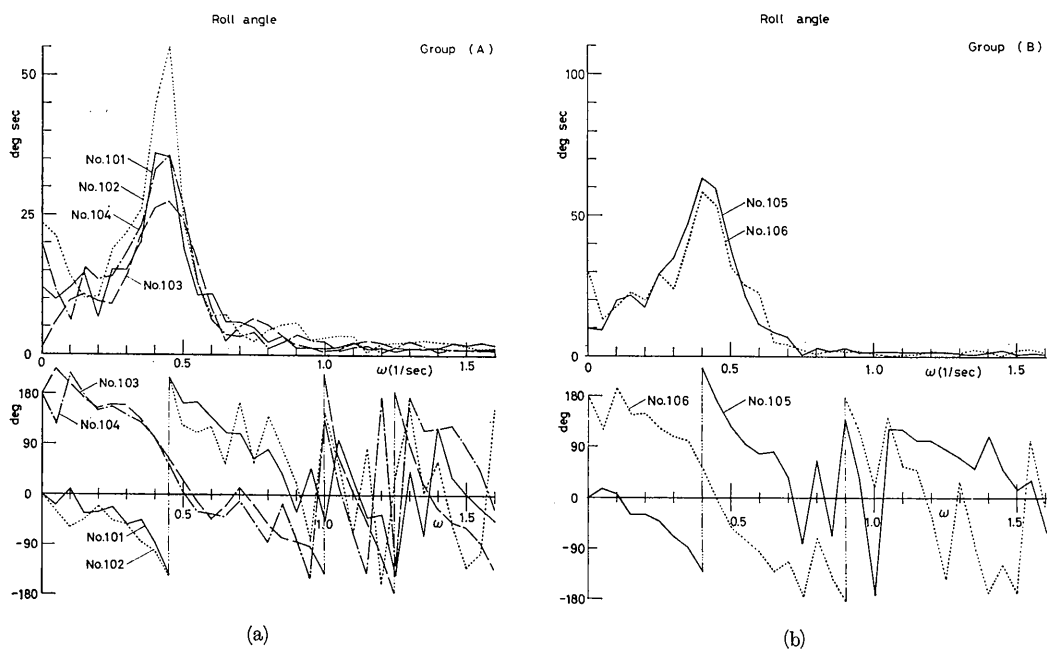


Fig. 19 Roll angle

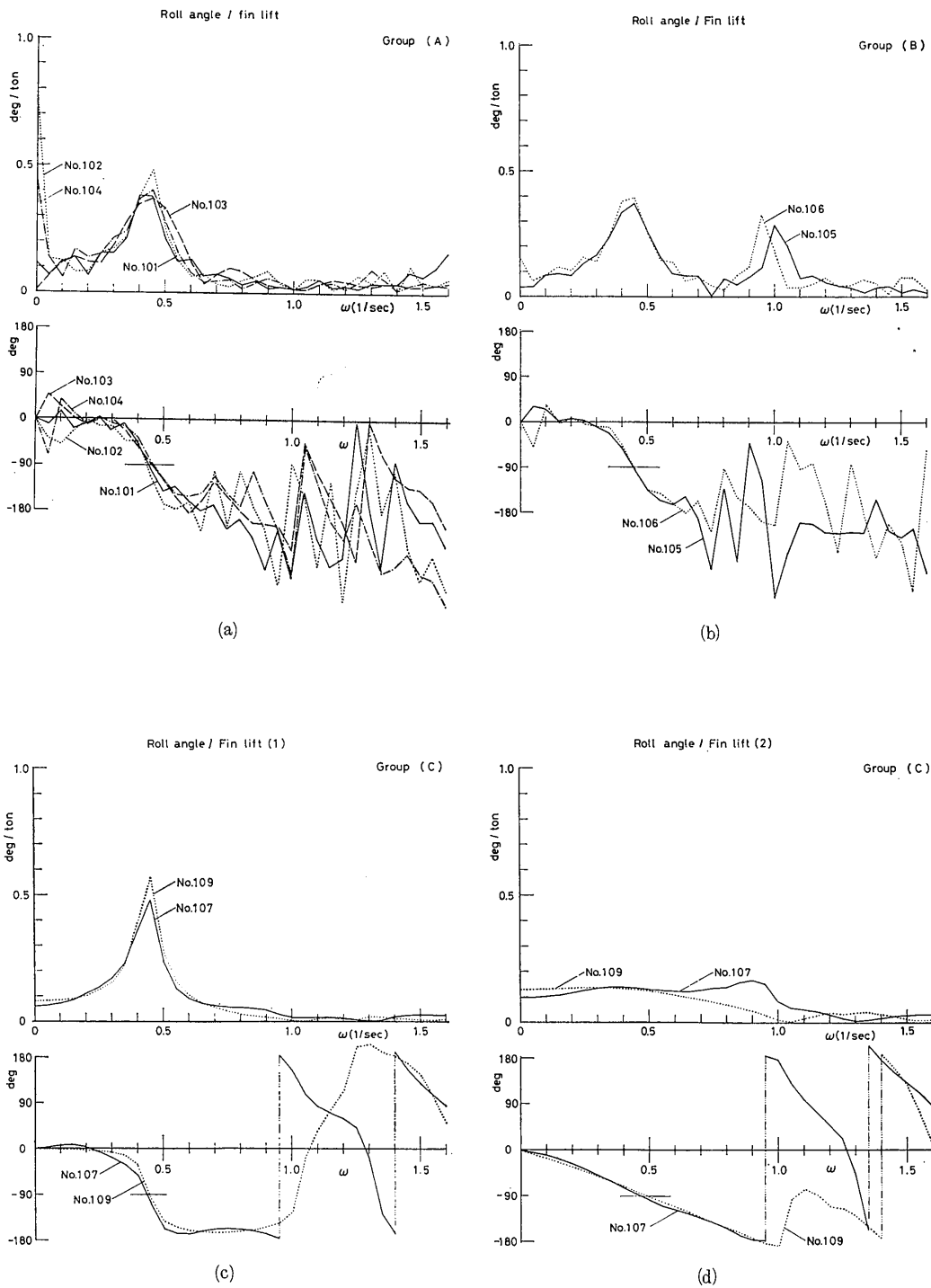


Fig. 20 Roll response

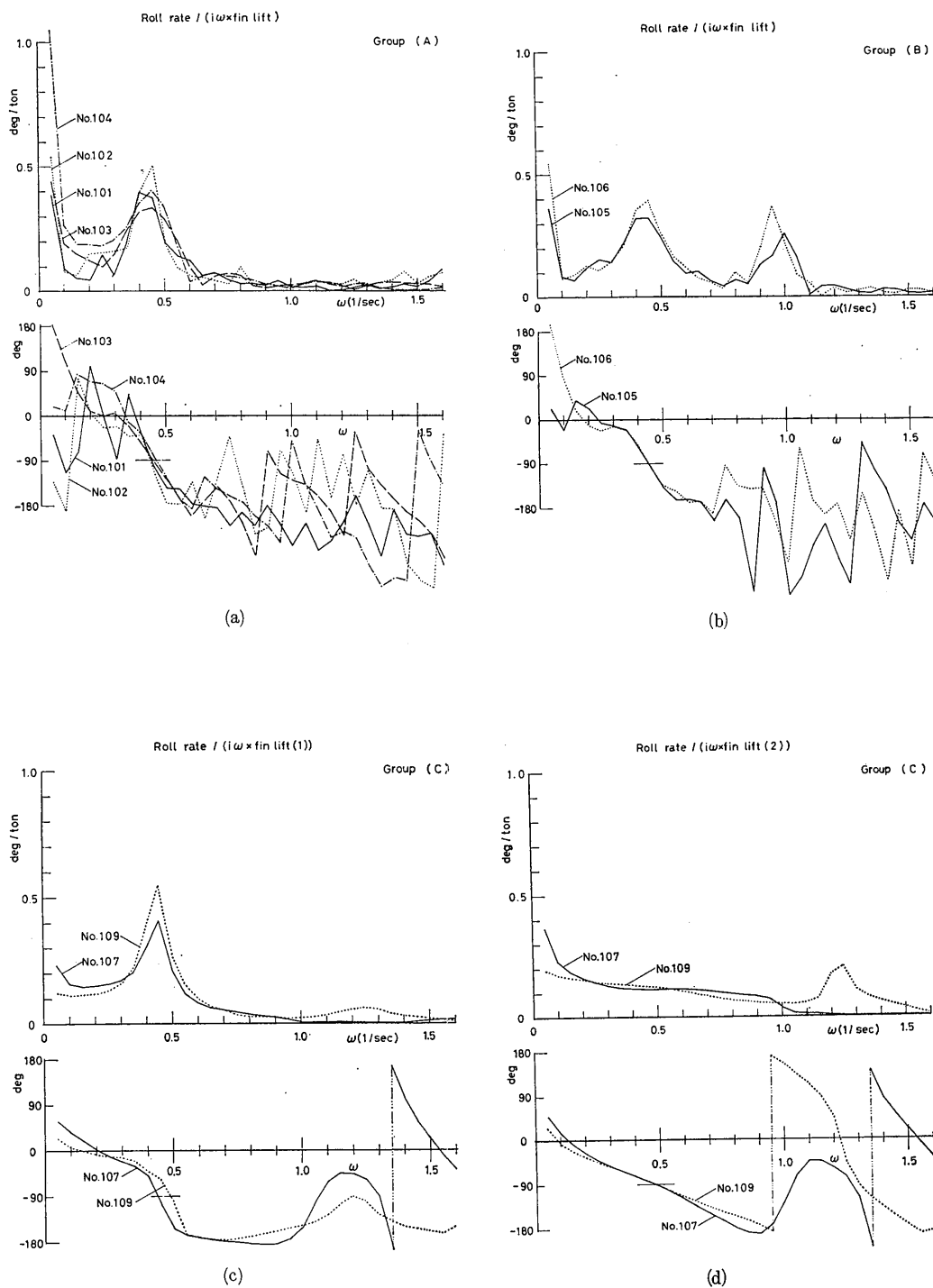


Fig. 21 Roll response calculated by roll rate

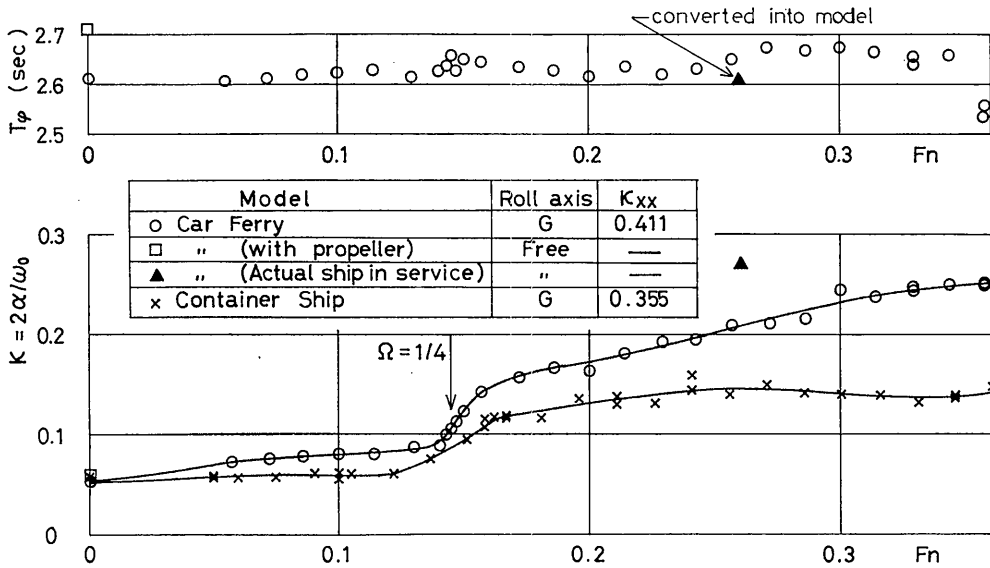


Fig. 22 Linear damping coefficients and natural period of roll

21右下図)によれば、応答関数としては大体 Critical damping ( $\kappa \approx \sqrt{2}$  前後)の状態に近く、フィンスタビライザーの効果は十分現れていると考えられる。これは前節のフィンの効果の判定と一致した結果となっている。

なお、ここで用いた方法を拡張して、波浪中で動揺中に、フィンスタビライザーを用いて独立な強制動揺を与え、動揺角及びフィン揚力を計測し、揚力を与えなかった場合の動揺角と合せて解析すれば(勿論、同一海象とみなせるという前提で)、船の応答特性及び横揺強制力としての海象が求められる筈である。この場合、適当な海象の時を選んで、ランダムな揚力を与え、スペクトラム解析を行なうのが適当と考えられる。機会があったら実験してみる価値があるのではないかと思われる。

4.4 結論

以上を総合して次の結論を得た。

- (1) フィンスタビライザーを利用して、船の横揺応答関数を求めることが可能である。
- (2) この場合、初期揚力を与える時間が短かければ、ロール角だけ測っても応答関数が得られるが、与えられる仕事が少ないのでロール角が小さく、外乱の影響が大きくなる。
- (3) 初期揚力を与える時間が長くなると、 $\omega$ の小さい範囲に揚力の谷が出来るため、応答関数の精度が落ちる。

(212)

- (4) 特に揚力制御の場合、初期揚力を与える時間及び揚力制御に切換えるタイミングは、解析結果に大きな影響を与える。
- (5) ロール角の代りにロール角速度を計測しても同様の結果が得られるが、 $\omega \rightarrow 0$ の値の推定が困難であるため、精度はやや低くなる。
- (6) この方法によって今回測定した、実船の航海中の減衰係数は、 $\kappa = 0.25 \sim 0.28$ の程度で、模型実験の値約0.2に比べると少し大きい。
- (7) フィンスタビライザーは、この場合非常に有効に働く。

5. 結 言

本研究は船舶技術研究所研究計画にしたがい、“外洋フェリーの運動性能に関する研究”の一部として、また(株)日本造船研究協会との共同研究として行なったものである。前報の模型実験と同様に、同協会第6基準研究部会を通じて、実船試験の便宜を計って下さった日本沿海フェリー(株)及び諸資料の提供に協力された(株)金指造船所はじめ、関係各位に深く感謝する次第である。

試験の実施に際しては、フィン揚力の計測等のために(株)東京計器の協力を得た。特に同社吉沢幸雄、深野道雄両氏には実験の準備の段階から、細部にわたって積極的に協力していただき、フェリー特有のあわただしい停泊時間も効率的に使用することが出来、実験を

スムーズに完了することができた。ここに両氏に心から感謝の意を表したい。

インパルス応答の解析プログラムは、電気通信大学学生関根隆幸君のコーディングによるものである。同君には日頃から実験・解析・計算等の全般にわたって有能なアシスタントになってもらっており、この機会に改めて感謝する次第である。

なお、実験の解析には当研究所共用電子計算機 F A C O M 270—20 を使用した。

#### 参 考 文 献

1) 小川陽弘, 野中晃二, 森政彦, 猿田俊彦: “外洋

フェリーの運動性能に関する研究(第1報)斜波中  
模型実験及び理論計算” 船舶技術研究所報告, 第11  
巻第6号, (1974)

2) 小川陽弘, 大津皓平: “コンテナ船あめりか丸に  
よる北太平洋航海性能試験(第3報)” 船舶技術研究  
所報告, 第9巻第3号, (1972)

3) 小川陽弘, 渡辺巖, 福田由美子: “実船の耐航性  
実験のデータ解析プログラム” 船舶技術研究所報告  
第11巻第1号, (1974)

4) 根角幸明 他: “減揺装置に関する実船試験の結  
果について” 関西造船協会, 造船三学会秋季講演会,  
(1972)

%%%