

## コンテナ船穂高丸による北太平洋実船実験について

翁長一彦\*・田中邦彦\*・柴田俊明\*

武井幸雄\*\*・猿田俊彦\*\*\*

### An Actual Ship Test of the Container Ship "Hotaka-maru" on the North Pacific Ocean

By

Kazuhiko OHNAGA, Kunihiko TANAKA, Toshiaki SHIBATA,  
Yukio TAKEI and Toshihiko SARUTA

#### Summary

Results of an actual ship test on the container ship "Hotaka-maru" owned by Showa Shipping Co. Ltd. and N.Y.K. Line Ltd. on the North Pacific Ocean are reported.

The test was planned according to the five years' plan on highspeed container ships of the Ship Research Institute, and was supported by the Japan Container Association.

The main objects of the tests were to collect datas about sea-margin, seakeeping quality, and behaviour of on-deck container. For these objects, a special test container which had many pickups to measure stress, deformation and acceleration was loaded on the deck.

The tests were carried out on her 23rd and 24th voyages in 1972. Torque, thrust and revolution of the propeller shaft, angle of rolling and pitching, accelerations by ship motion, lashing tension, and stress and deformations of the container were measured.

After analyses of the data following conclusions are obtained.

1. Sea conditions had much influence on the average sea-margin. Supposing that duration of very rough sea which occupied about 15% of a total navigation time were excepted, the average sea-margin might be decreased from 45.5% to 18.5% in a voyage.
2. In case of very rough sea that the wind force exceeds eight by Beaufort scale, the ship speed has been reduced to avoid heavy pitching motion, which angle has exceeded about 10 degrees in double amplitude, and the course of ship has been changed to avoid heavy rolling motion, which angle has exceeded about 30 degrees in double amplitude.
3. From the relations between the tensions of container lashing members and the accelerations of the test container, the expectations of the lashing members' tensions can be estimated from the distributions of the accelerations on deck.
4. The tensions of diagonal lashing members were larger than those of vertical members, and the stresses of the container caused by racking were negligibly small compared to the stresses on a proof-test of the container.

\* 築装部 \*\* 推進性能部 \*\*\* 運動性能部

原稿受付: 昭和50年6月11日

## 目 次

1. まえがき
2. 対象船および航路
3. 対象コンテナおよびラッシング方法
  - 3.1 供試用コンテナ
  - 3.2 積載方法
  - 3.3 ラッシング方法
4. 計測方法等
  - 4.1 一般
  - 4.2 主軸関係の計測
  - 4.3 船体運動関係の計測
  - 4.4 コンテナ関係の計測
5. 計測結果の概要
6. 主軸に関する計測と結果
  - 6.1 計測および解析結果
  - 6.2 シーマージン
7. 船体運動に関する結果と考察
  - 7.1 解析方法
  - 7.2 荒天運航
8. コンテナの挙動に関する結果と考察
  - 8.1 一般
  - 8.2 一般的現象の解析
  - 8.3 統計解析
  - 8.4 スペクトラム解析
  - 8.5 コンテナの変形と応力
  - 8.6 コンテナの挙動についてのまとめ
9. おわりに

## 1. まえがき

船舶技術研究所においては、昭和36年度以来10年計画のもとに実船実験を行ってきたが<sup>1)</sup>、さらに昭和46年度より特に高速コンテナ船を探り上げてこれの実船実験を実施している。本報告はその2年度目に当たる昭和47年度の秋季から初冬にかけて行われた、北太平洋航路のコンテナ船“穂高丸”による2航海の実船試験結果について述べたものである。

当研究所の実船実験の目的は、各種船型について長期にわたるシーマージン、および耐航性を求めるとともに、その船型に応じて特に必要な事項について各年度ごとに重点的な計測を実施することとしており、たとえば大型タンカーまたは鉱石船については船体強度を、高速ライナーまたはコンテナ船については運動特性または機関特性を重点項目として実施してきた。昭

和47年度においては、コンテナ船の大きな特徴の一つである甲板積コンテナの挙動と、そのラッシング部材の強度に関することを重点項目として採り上げることとした。

シーマージンおよび動搖特性の計測は、毎回の実船実験で継続して行われているがコンテナ船のような高速貨物船については、シーマージンに関する資料が比較的少なく、また動搖特性については多くの問題をかかえており<sup>2)</sup>、現在30ノットまたはそれ以上の超高速化、あるいは大型化が進められている時点において、この種の船型についての実船の計測値は極めて重要な資料となると考えられる。さらに、甲板積されたコンテナが波浪により損傷を受ける例がしばしばあり、またコンテナのラッシング部材は動搖により応力変動を受けるが、実船の航海時のこのような強度に関する計測例はほとんどないため、積荷の安全を確保するうえからこの種の実験はコンテナ関係者から強く要望されていたものである。

一方、(社)日本海上コンテナ協会においては、コンテナの強度とラッシング部材の強度について種々調査ならびに研究を実施していたが、この実船実験については当研究所と実験の目的が非常によく一致したため、共同研究を実施することとなり、供試用コンテナを製作し、強度試験、変形計測試験等を実施したうえで、そのコンテナを実際に対象船に積載した。

## 2. 対象船および航路

実験対象船は昭和海運(株)および日本郵船(株)所属のコンテナ船穂高丸であって、要目を Table 2.1 に一般配置図を Fig. 2.1 に示す。本船は神戸—東京—シアトル—バンクーバー航路に就航しており、隔航ごと

Table 2.1 Principal Dimensions

Length (o.a.)	196.00 m
Length (p.p.)	173.00 m
Breadth (mld)	27.60 m
Depth (mld)	16.60 m
Draft (mld)	10.50 m
Dead Weight	20,400 t
Gross Tonnage	21,057.01 t
Net Tonnage	11,547.18 t
Numbers of Containers	20×839
Main Engine	MITSUBISHI SULZER 8RND
	105 30,400 ps×108 r.p.m.

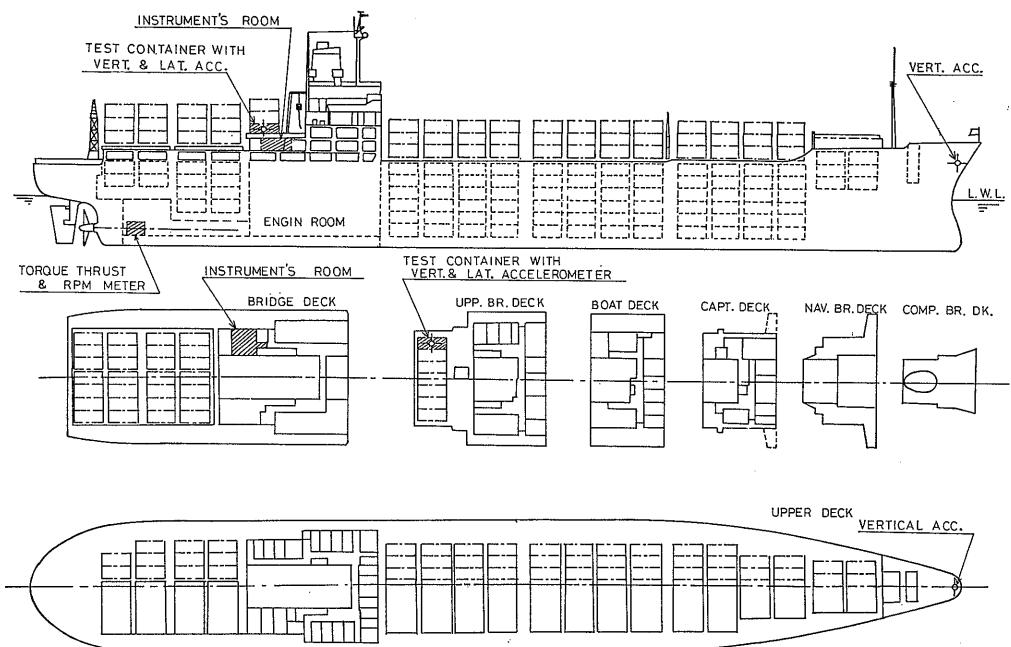


Fig. 2.1 General Arrangement of "HOTAKA MARU"

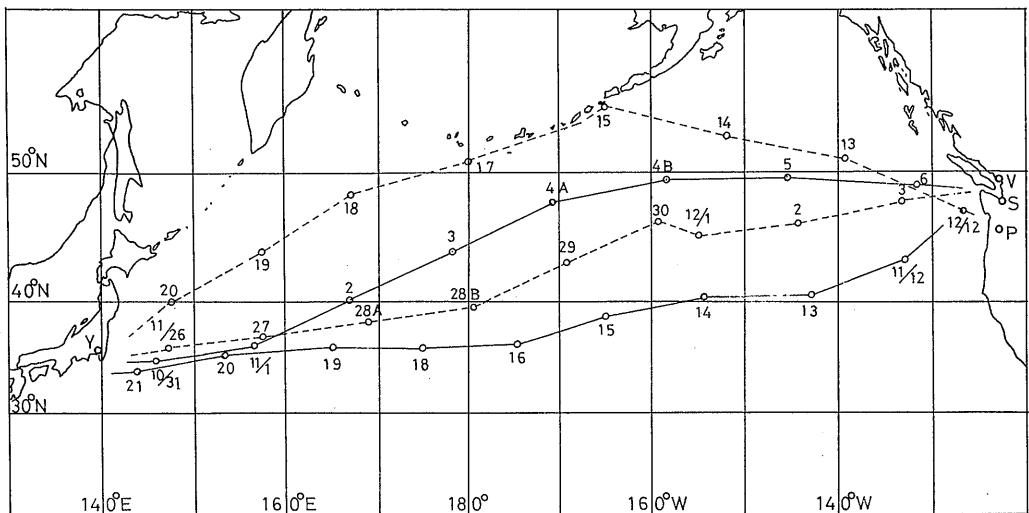


Fig. 2.2 Navigation Course and Noon Position

にポートランドに寄港する。実験航海はその23次航、および24次航であり2回目航海においてはポートランドに寄港した。計測はいずれも大洋航行中に行い、往

航は横浜—シアトル間、復航はバンクーバ（またはポートランド）—神戸間で実施した。航路図および毎日の正午位置をFig. 2.2に示した。

### 3. 対象コンテナおよびラッキング方法

#### 3.1 供試用コンテナ

実船実験のために計測用コンテナを用いた例<sup>3)</sup>はあるが、供試用のコンテナを積載したことは本実験の特徴の一つであろう。本コンテナには各部の応力、変形を計測するためのピックアップ、コンテナ自体にかかる外力を計測するための加速度計を設置し、また各種計測用配線の中継接続箱としても利用したが、勿論貨物は積載していない。

供試コンテナは日立造船(株)製の鋼製コンテナ(8×8×20', 重量 2.3t)であり、その図を Fig. 3.1 に示す。このコンテナはプロトタイプの一つであるため、コンテナ規格 (ISO および NK) に準じた耐力試験を実施したが、その際に実船実験で行う計測と同様の計測を行い、両者の対応づけが可能なように配慮した。Fig. 3.1 の図中の符号はその計測点を示す。

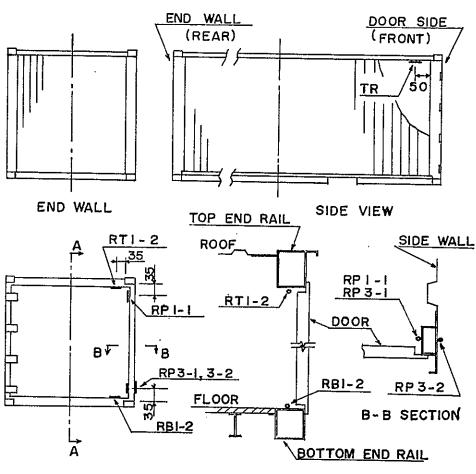


Fig. 3.1 Test Container and Measuring Points

さらにこのコンテナには実験の便宜を考慮して、トリミングハッチ、電線貫通ピース等を設ける改造工事を実施した。

#### 3.2 積載方法

供試コンテナを本船に積載するための条件としては、

- 1) 甲板積みのこと。
- 2) 船体動搖による外力がなるべく大きい個所として舷側に近いこと。
- 3) 船室内におく計測室になるべく近いこと。
- 4) 実験航海の間移動させたり陸揚げさせたりしないですること (もし陸揚げすると通関の問題も生じる)。
- 5) 波浪打込みによる損傷の危険が少ないこと。

等が考慮された。幸いにも本船船楼後部の上部船楼甲板上のハッチのない個所にコンテナ積載場所があり、しかもその下部の区画が計測室として使用できるため、1) および 3)~5) の条件にまことに好都合であった。また各寄港地の埠頭条件を調査すると、神戸を除きいずれも右舷接岸であるため、供試コンテナを左舷端の最下段における荷役上の障害とならず、2), 4) の条件も満たすことが確認された。また、供試コンテナを甲板上の最下段におくことは、上に積載したコンテナにより垂直荷重、racking force とも大きくなるため、実験として好ましい条件である。また供試コンテナ内の加速度を計測すれば、ほぼ積載個所の船体加速度を計測したと同じことになると考えられる。

以上の考えから上記の位置 (Fig. 2.1 および 3.2 参照) に供試コンテナを積載し、上部の 2 段 (計 3 段積み) には一般的のコンテナ貨物が適宜積載された。Table 3.1, Photo 1, 2 にはこれらコンテナの積載状態を示す。

Table 3.1 Conditions of Containers

Voyage Stack	1st Out		1st Home		2nd Out		2nd Home	
	Wt.	Contents	Wt.	Contents	Wt.	Contents	Wt.	Contents
Top	10.4	Engine Parts	2.0	Empty	4.7	Foot Wear	2.7	Empty
Middle	11.4	Do.	20.0	Wood Pulp	6.5	Bycycle Parts	16.5	Malt
Low (T.C.)	2.3	—	2.3	—	2.3	—	2.3	—
Total	24.1	—	24.3	—	13.5	—	21.5	—

Wt. ton

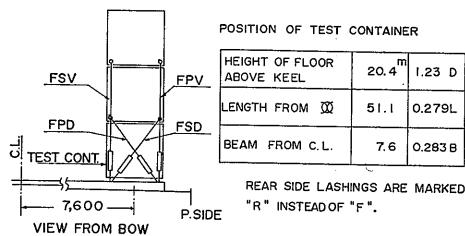


Fig. 3.2 Stowage and Lashing of Test Container



Photo 1 Test Container Loaded on Deck

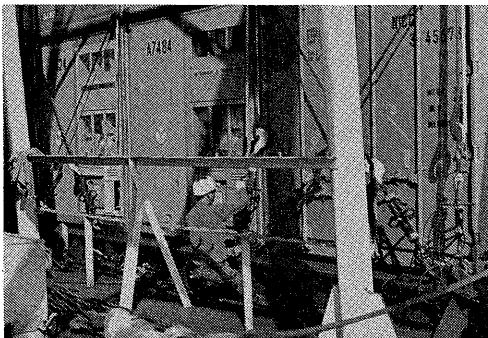


Photo 2 Test Container Finished Lashings

### 3.3 ラッシング方法

これらコンテナのラッシングは、ラッシングロッドとターンバックルを用いて Fig. 3.2 に示すようにラッシングする方法が本船の標準方式であり 1 次航においてはこれに従ったが、第 2 次航においてはコンテナ協会の希望により、船主の諒解の下に斜ラッシング部材を除き垂直ラッシングのみとした。これは計算上は垂直ラッシングのみでも充分な安全率が確保されると考えられるため、実船実験によりそれを確認しようという試みであり、この実験のために特に船主に通常の運航条件を変更して頂いた特殊な例であった。さらによくまた、両航とも、上下コンテナ間のピラミッド型の

stacking piece は隣列と分離し、他の列のコンテナの運動により供試コンテナの挙動が影響を受けないように配慮した。

## 4. 計測方法等

### 4.1 一般

計測の内容を大別すれば、シーマージン関係、船体運動関係およびコンテナ関係の 3 種となり、これらは各種計測器を用いて記録した。

さらにこの他に、うねりや波浪の方向、波高および出会い周期等の海象については観測を行い、また、風向風速、温湿度および気圧等の気象および針路、船速等については本船設備の計器から読み取り、さらに本船の log book 記載事項を参照させて頂き各種航海条件を把握することとした。

以上の計測、観測および読み取り等の手法は従来の実船実験<sup>4)~7)</sup>とほぼ同様であり、原則として 1 日 2 回 (10~11 時、14~15 時) の定時に行い、状況に応じてさらに臨時に追加することとした。

計測器類のプロックダイアグラムを Fig. 4.1 に示す。

現象ごとの連続計測時間は、シーマージン関係およびコンテナ関係では約 5 min、船体運動関係では 15 min としたが、5 min 間のものは後の解析においてやはりデータ不足の感があった。

### 4.2 主軸関係の計測

シーマージンのためには主軸のトルクと回転数の計測が必要であるが、さらに主軸のスラストを計測した。トルクとスラストの測定は主軸のプロペラに近い中間軸にストレインゲージを貼りつけて行い、Fig. 4.2 に示すように、スリップリングとブラシを介して、トルク、スラストの信号を直流増幅器で増幅して記録した。また、主軸の回転速度はアクリル製ブーリーをつけた回転発電機を主軸に接触させて検出した。使用したストレインゲージの要目を Table 4.1 に示す。スラスト検出用には半導体ゲージを用いた。

トルク、スラストの較正は既知の固定抵抗を測定ブリッジ回路の一辺に並列に加え、次式により見かけのトルク  $Q$ 、スラスト  $T$  を与えて行った。

$$Q = \frac{\pi G D^3 R}{32 K (R + R_c)} \quad (4.1)$$

$$T = \frac{\pi (D/2)^3 E R}{2 K (1 - \nu) (R + R_c)} \quad (4.2)$$

ただし、 $G$  は主軸の横弾性係数、 $E$  はヤング率、

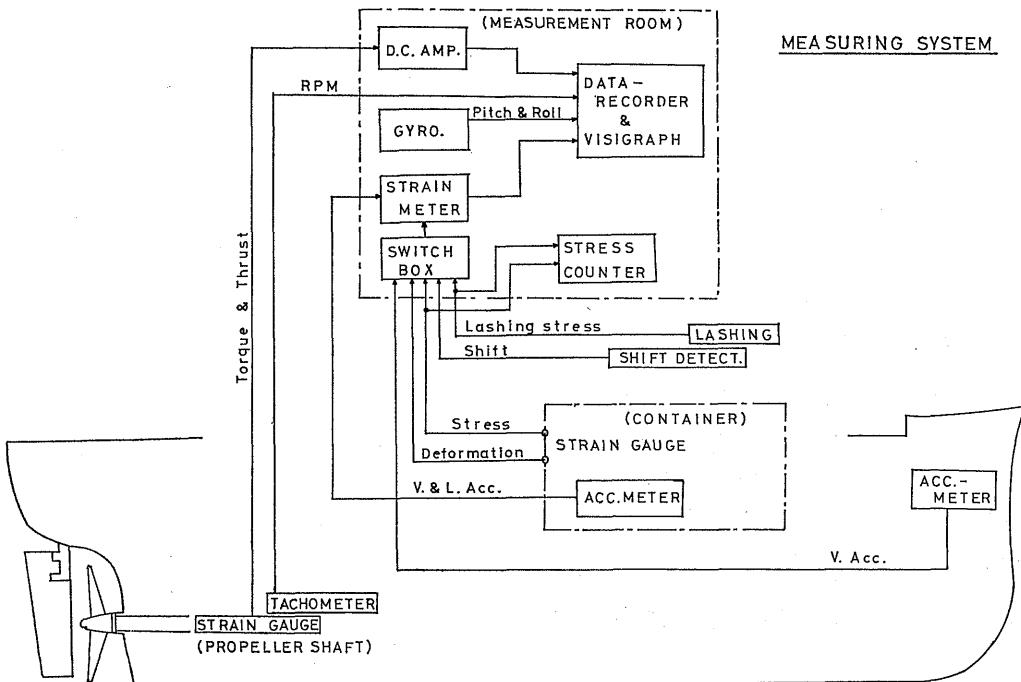


Fig. 4.1 Measuring System

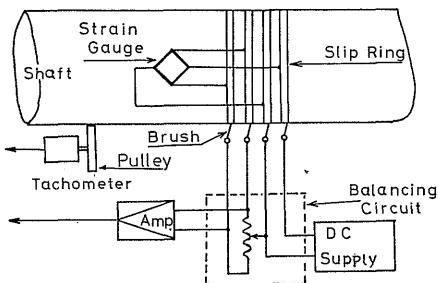


Fig. 4.2 Measuring Method of Engine Outputs

Table 4.1 Strain Gauge

	TYPE	RESISTANCE	GAUGE	GAUGE	BRIDGE
TORQUE	KC-20-AH-II (KOWA)	120 <sup>W</sup>	2.06	20 mm	4 GAUGES 1 BRIDGE
THRUST	KSN-6-350-E-11 (KOWA)	350	~ 93	6	8 GAUGES 1 BRIDGE

$D$  は直径,  $\nu$  はポアソン比であり,  $R$  はゲージの抵抗値,  $K$  はゲージ率,  $R_c$  は較正用固定抵抗の値である。回転速度については、静かな洋上において主機の回転数を変えて航走し、本船装備の回転計により較正した。

#### 4.3 船体運動関係の計測

船体運動として、pitch, roll を計測室内において

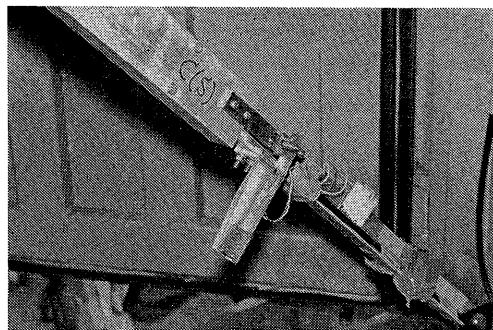
free gyro により計測し、供試コンテナの床上においてた加速度により上下方向（甲板に垂直）および横方向（甲板に平行）加速度を検出した。さらに船首樓内 F. P. の位置における上下方向加速度も計測したが、計器の具合が悪く、計測できたものは数回に過ぎなかった。

供試コンテナは 3.2 にも述べたように甲板上最下段に積載しており、加速度の計測結果からこのコンテナが移動したとは認められていないため、船体運動のみによる加速度が計測できたものと考えられる。

#### 4.4 コンテナ関係の計測

コンテナの各部応力は前述のように、Fig. 3.1 に示す個所にストレインゲージを貼りつけて計測した。

また、動搖による racking force によってコンテナの端面、特に扉枠の端面が菱形に変形することを予想し、扉枠の対角線の長さおよび両扉の締め合わせ部分の相対変位（垂直方向）を計測した。このため、アルミ製のスライド式バーを扉枠の対角線方向にわたし、バーの両端を枠の上下隅にピンジョイントで取付け、スライド部の相対変位を Photo 3 に示すような片持式板バネの曲がりとして取出し、この板バネにストレインゲージを貼って検出した。扉の相対変位も同様に板バネの曲げとして検出した。



**Photo 3** Device of Deformation Measuring (Diagonal Length of Container)

さらにまた、動搖によって最上段のコンテナが跳び上ることがあるか否かという問題も考えられたため、最上段コンテナの下部 corner box と 2 段目コンテナ上部 corner box との間に半円状板バネを取付け、この板バネにゲージを貼って相対変位を計測した。いずれの板バネも事前に変形量と歪値との較正を行った。

ラッシング部材の張力を計測するためには、ラッシ

ング用ターンバックルの平行部にゲージを貼り、やはり実験前に較正を行ったものを用いた。

Table 4.2 はコンテナ関係の計測点の一覧表であるが、ピックアップが大部分曝露部分にあるため風雨と海水のしぶきに叩かれて不良となり、計測できなかつたものもある。

### 5. 計測結果の概要

各航海（片道）はおよそ 9 ~ 10 日を要したが、全計測日数は 34 日、計測回数は 1 次航で T. No. 1 ~ 37、2 次航で T. No. 101 ~ 134 の計 70 回であった（欠番が 1 回ある）。この定時計測および観測の結果を経日変化の形で Fig. 5.1 ~ 5.4 に示した。Fig. 5.1 a および b は 1 次往航、Fig. 5.2 a および b は 1 次復航であり、以下航海順に示してある。また (a) は主にシーマージン関係の諸値を示し、(b) は船体運動とコンテナ関係の諸値を示した。T. No. に丸印を付したものは臨時計測のものである。

風向、風力、針路およびうねりの方位と高さは定時

**Table 4.2** Measuring Items of Test Container

Measuring Items			Mark	Voyage	
				1st	2nd
Tension of Lashings	Vertical Members	Front P. Side	F P V	○	○
		Front S. Side	F S V	○	○
		Rear P. Side	R P V	○	○
		Rear S. Side	R S V	○	○
	Diagonal Members	Front P. Side (on Deck)	F P D	○	—
		Front S. Side (on Deck)	F S D	○	—
		Rear P. Side (on Deck)	R P D	○	—
		Rear S. Side (on Deck)	R S D	○	—
Stress of Container	Door Frame	Top End Rail (inside)	R T1-2	○	○
		Corner Post, top (inside)	R P1-1	○	○
		Corner Post, middle (inside)	R P2-1	—	○
		Corner Post, low (inside)	R P3-1	○	○
		Corner Post, low (outside)	R P3-2	—	○
		Bottom End Rail (inside)	R B1-2	○	○
	Roof Rail	P. Side (inside)	T R (P)	○	○
		S. Side (inside)	T R (S)	—	○
Defomation of Container	Junction part of Both Doors			D	○
	Diagonal Line of Door Frame (P. Side on Floor)			C (P)	○
	Diagonal Line of Door Frame (S. Side on Floor)			C (S)	—
	Jumping Height of Container			J	○

計測時ものであるが、不充分なところは log book 記載事項を用いてある。また平均速度は log book 記載の平均値であるが、主軸の回転数、トルク、スラストは定時計測結果の平均値であり、揺れ角、加速度、応力および張力はいずれも計測結果より求めた最大値または平均値である。

1次往航においては、ほとんどが追風、追波の状態にあり船速低下も認められないが、他の航海はすべて向風または向波であり、特に2次航においては部分的に大きな速力低下や馬力の低下が認められる。一方、揺角や加速度の値は1航海の間に必ず数回大きな値が観測されている。しかし、これらは定時計測中のある一定時間内で観測された最大値であるため、いわば一つの目安にしか過ぎず、特に海象が変化しつつある時、または針路を変更した時等現象変化が急激な場合の状況を充分には表わしていない。たとえば T. No. 125 ではアリューシャン列島を過ぎた所で急激な荒天に遭遇し、変針する時に両振幅で 30 deg を超える横揺れを生じたが、計測切替中のため、残念ながらその最大値は記録されていない。

したがって、これらの図から各種計測値の相互関係を検討することはできないが、一応各航海における全般的な状況を把握することができ、また roll 角と横加速度との間には一応かなり密接な対応があることが認められる。

また Fig. 5.5 a~c には log book の記載、または気象発信電報による風力、風浪およびうねりの高さについての発生頻度分布を示した。一般的に1次航においては中位の海象が多かったのに比べ、2次航では荒天に遭遇した率が高かったといえよう。

## 6. 主軸に関する計測と結果

### 6.1 計測および解析結果

Fig. 6.1 にトルク、スラストなどの変動をビジュグラフに記録したもの的一部が示してある。この記録は T. No. 37(第1次航復航、11月21日臨時計測 2)で、本船が荒天に遭遇したときのものである。トルクおよびスラストの記録には主機がディーゼルエンジンであるため、各シリンダの爆発の影響が現われてかなり周波数の高い振動が生じている。

実船実験の場合トルク、スラストの零点は航走中に確認することができないので零点の移動量が計測の精度を左右するといつても過言でない。本実験の場合トルクの零点移動は各航ともにトルクの平均値(約 170

t-m) に対して 1.5% 内外であった。しかし、スラストについては、出港直後の計測値約 110 t に対して 30% 以上の零移動を生じた。スラストは軸の圧縮ひずみをストレインゲージで検出して測定するのであるが、トルクによる軸の捩りひずみにくらべて約 1 術小さいので、軸の温度変化など雑音の影響を受けやすい。実船の軸ひずみによるスラスト計測のむずかしさはここにある。Fig. 6.2 にスラストの測定値とスラストを検出した中間軸の主機側の軸受けの温度と軸室の気温の関係が示してある。これをみるとスラストの零移動があきらかに温度に関係していることがわかる。

なおトルクの測定値は Fig. 5.1 a~Fig. 5.4 a に示してある。

Fig. 6.3 に横揺、縦揺、軸の回転速度、スラストとトルクの変動のパワースペクトルが示してある。これは Fig. 6.1 で示した記録を解析した結果で、T. No. 37 におけるものである。ここでは周期あるいは周波数のみを問題にするので縦軸は任意目盛とした。この図をみると、横揺、縦揺はそれぞれ周期が 20 秒、8 秒付近に極大値を持っていて、それぞれの付近の船体運動が卓越していることを示している。一方、回転速度、スラストとトルクの変動のパワースペクトルは縦揺れと同周期付近に極大値がみられる。このことは主軸関係の変動は船体運動のうち縦揺におおいに相関があることを示していると考えてよいだろう。

この結果は、一軸コンテナ船“あめりか丸”における実船実験においても同様な解析結果が報告されており<sup>9)</sup>、本船も一軸コンテナ船であるので主機関係の船体運動に起因する変動は横揺の影響をうけにくいのであろう。

### 6.2 シーマージン

各航の平均値より求めたシーマージンなどをまとめて Table 6.1 に示してある。航海距離、時間などは log book に記載されたものを用いた。シーマージン；SM は次式によって計算した。

$$SM = \frac{BHP - BHP_0}{BHP_0} \times 100 (\%) \quad (6.1)$$

ここで BHP は計測したトルクと回転速度より求め

Table 6.1 Sea Margin

VOYAGE	PORT	MAEN DRAFT	DISPLAY CEMENT	HOURS	DISTAN- CE	AVERAGE SPEED	SEA MARGIN	SLIP
1st OUT HOME	YOKOHAMA -SEATTLE	8.82 m	25110 t	194.5 h	4361 SM	22.42 kt	17.0 %	7.4 %
1st HOME	VANCOUVER -KOBE	9.56	27680	246.5	4945	20.06	57.5	13.5
2nd OUT HOME	YOKOHAMA -SEATTLE	9.15	26000	222.0	4520	20.36	45.5	10.3
* 2nd PORT HOME	POPEYON -KOBE	10.05	28960	179.0	3710	20.73	39.2	10.9

\* 12月20日までのデータによる。

た馬力で、BHP<sub>0</sub> は本船の水槽試験結果から求めた Displacement—Speed 曲線より求めた静水中における馬力である。

ここで得られた値をみるとコンテナ船“あめりか丸”で、冬季北太平洋で行われた実船実験の結果とあまり相違がないことがわかる<sup>2)</sup>。Table 6.1 で第1次復航のシーマージンが他に比較して大きいのはひんぱんに荒天遭遇したためである。ここで荒天遭遇がいかにシーマージンに影響するか調べてみると、Fig. 5.3a および Fig. 5.3b をみるとわかるとおり、第2次航往航では 11月 30 日の午後から約30時間にわたって荒天に出会ったが、それ以外はおおむね平穏であった。そこで、本航で仮に荒天中の 2 日間を除いてシーマージンを計算してみると 18.5% になる。この結果から航行時間の割合にして約 15% の荒天遭遇がシーマージンの値を大幅に引きあげていることがわかる。

## 7. 船体運動に関する結果と考察

### 7.1 解析方法

データレコーダのアナログ記録を AD 変換し紙テープとし、これを船研共用電子計算機 FACOM 270-20 で処理した。1 実験の記録時間は大部分が 15 分である。AD 変換時のデータのサンプリングタイムは 0.8 秒、データ数は一部 500 個位のものもあるが大部分は 900~1000 個である。オートコレログラム計算時の最大ラグ数は 90 であり、スペクトラム計算に際してはウインドウ  $W_2$  を使用した。解析はスペクトラム解析のほか両振幅の頻度分布を求める統計解析を行った。

スペクトラム解析および統計解析の方法については文献 3), 7) に詳しく記載されているので省略するが、スペクトラムの面積から分散  $\sigma_s^2$  (標準偏差  $\sigma_s$ ) を求める場合は次式

$$\sigma_s^2 = 2 \int_{\omega_L}^{\omega_H} s(\omega) d\omega \quad (7.1)$$

によつたが、積分範囲  $\omega_L$  は低い周波数の所でスペクトラムが谷となる所を、 $\omega_H$  はパワーの増加が殆んどなくなる所をとつてある。

Fig. 7.1a~Fig. 7.4b に比較的の動搖の大きい場合の横揺れおよび縦揺れの自己相関関数とスペクトラムを実験番号順に示した。

これらの図のうちのローリングのスペクトラムのピークをみると

第1次航往航時  $\omega = 0.27 \sim 0.3$  ( $T = 23.3 \sim 20.9$  秒)

第1次航復航時  $= 0.35$  ( $= 18.0$  秒)

第2次航往航時  $= 0.31$  ( $= 20.3$  秒)

第2次航復航時では不確実であるが本船のローリングの固有周期がおおまかにいってこの辺にあったものと考えられる。

統計解析による動搖の両振幅の頻度分布を求めたものを Fig. 7.5a~Fig. 7.6b に示す。また図にはこれと分散が等しい場合の Rayleigh 分布曲線

$$P(H) = \frac{H}{4\sigma^2} \exp\left(-\frac{H^2}{8\sigma^2}\right) \quad (7.2)$$

も示してある。解析して得られた両振幅の諸量間の関係を Fig. 7.7a~Fig. 7.7d に示す。同図中には Rayleigh 分布における次の関係式を直線で示した。

$$\left. \begin{array}{l} H_{\max} = 2.5\bar{H} \\ H_{1/10} = 2.032\bar{H} \\ H_{1/3} = 1.129\bar{H} \\ \sigma_s = 0.399\bar{H} \end{array} \right\} \quad (7.3)$$

ただし、 $H_{\max}$  については両振幅のデータ数がおよそ 100~200 個であることから  $H_{100} = 2.45\bar{H}$ 、 $H_{200} = 2.62\bar{H}$  の中間の値として  $2.5\bar{H}$  とした。標準偏差  $\sigma_s$  はスペクトラム解析から求めた値を使用している。

### 7.2 荒天運航

各航海毎の全般的な海象、針路、船速、船体運動、その他の状態については Fig. 5.1~Fig. 5.4 に示されている通りである。ここではそれらのうちの中から風力 7~8 以上の荒天に遭遇して動搖の激しかったときのものを選んで記し、荒天時の船体動搖と操船との関係をみてみる。

海象スケッチを Fig. 7.8a~Fig. 7.8b に示す。風向は絶対風向を示した。

第1次航往航時では追波、斜め追波、横波の状態が続き、そのうち特に 2~3 回の横揺れの激しい時を除いては比較的の平穏な航海であった。

すなわち、T. No. 13 (11月 5 日午前) では風力 7 で追波を受け、横揺れが激しく最大値  $\varphi_{\max} \approx 27^\circ$  (両振幅、以下同様) にもなり、僅かながら針路の変更をしている。しかし、この操船が激しい横揺れだけを避けるためか、コンテナの固縛装置に対する危惧によるもののかはっきりしない。

T. No. 15 (11月 6 日早朝) は Seattle 入港を明日にひかえ一路東進中、999 mb の低気圧の中心に入り、前夜半より横波を受けじょじょに横揺れが大きくなり、机の上の物は全て放り出されたり、椅子も倒れるなどかなり激しい横揺れが続き、目を覚したので臨時計測を行った時のものである。解析結果では  $\varphi_{\max} \approx$

25° であるが、これは計測時にはその最も荒れた海域を既に離れてしまっていたため小さ目の値を示したものと思われる。その時の天気図と船のコースを Fig. 7.10 a に示す。

第1次航復航時では向波の状態が続き、全般的に縦揺れが大きくなっている。

T. No. 25 (11月15日午後) から縦揺れは大きくなり始め、T. No. 26 (11月15日夜、臨時計測) では  $\theta_{\max} \approx 13^\circ$  と厳しさを加えてきた。海水打込やパンチングを避けるために1ポイント半 (約17度) 針路変更し、僅かながら減速している。

T. No. 29 (11月18日午前) は縦揺れの最大値  $\theta_{\max} \approx 9^\circ$  と大きな縦揺れをしているが、僅かな針路変更だけで減速することなく縦揺れを避けている。これは海象がうねりのみで風力2と平穏な状態のためであろう。

第1次航のうちで最大の動揺を経験したのは11月21日である。

2つの低気圧のちょうど真中を突切るように針路をとり早朝より荒れ始め、T. No. 34 の臨時計測では斜追波状態で横揺れが  $\varphi_{\max} \approx 25^\circ$  であった。午前の定時計測 (T. No. 35) の頃に前線を通過し海象も荒れ模様を呈し、午後からは向波状態に変わってきた。特に午後の定時計測 (T. No. 36) 以後の T. No. 37 では縦揺れは一段と激しさを加え  $\theta_{\max} \approx 10^\circ, 13^\circ$ 、と増加の一方をたどり、ついに  $17^\circ$  にも達した。そのときのデータの一例を Fig. 7.9 に、船上で受信された天気図を Fig. 7.10 b に示す。本来なら明日は神戸入港があるので、前回の定時計測 T. No. 36 をもって今航海の計測は全て終了の予定であったが、この機会を逃がさず臨時計測 T. No. 37 を行ったものである。船橋では F'cle を越えて飛来する真白い飛沫の他は何も見えず、船長以下乗組員は無言で前方をみつめていた。激しい動揺、海水打込、パンチングを避けるため減速と変針を余儀なくされた。このため翌日の神戸入港は数時間遅れた。

第2次航往航時には、11月30日～12月1日にかけて発達した低気圧の間に入り風力7以上の荒天が続いた。そして向波の中で縦揺れが  $\theta_{\max} \approx 10^\circ$  を越える揺れが続いたため、予定の針路を大幅に外れる迂回コースを取り、また減速を続けざるを得なかった。その時の様子は Fig. 7.10 c に示す天気図中に11月30日正午から12月1日正午までの3時間毎の船の位置を示したものに良く現わされている。また Fig. 7.10 d に同

時に受信した波浪予報図の高波高域分布図を示した。

第2次航の復航時には、T. No. 125 (12月15日午前) ではアリューシャン列島を横切る予定で針路を西北西に取っていた。しかし、かなり横波に近いうねりとも風浪とも分ちがたい波を右舷前方に受け、長い時間にわたって横揺れを続け最大値  $\varphi_{\max} \approx 30^\circ$  にもなった。

海上は荒天を極め風力10、最大風速70 ktに達した。このためついにペーリング海通過を断念し、減速したうえ針路を転じている。この荒天は、後で船長から聞いたところによると、ファクシミリで送られてくる天気図からは予測できなかつたそうである。Fig. 7.10 e にそのとき受信した波浪予報図を示す。

T. No. 130 (12月18日午後) では Fig. 7.10 f に示すように低気圧の中心を通り、向波状態で縦揺れは  $\theta_{\max} \approx 12^\circ$  に達したので意識的な変針、減速を行っている。

第2次航は第1次航に比して荒れた海象が多かったが、これはコースが第1次航より北寄りであったことと、時期的に冬季に入って低気圧が発達することが多くなつたためと思われる。

以上、各航海毎の主な荒天に遭遇したときの航海の模様を述べたが、これらをまとめて表に示したもののが Table 7.1 である。なお、この表にはコンテナ内部の加速度両振幅の最大値も参考のために示してある。

これらをみると、荒天における本船の操船状況として以下のようなことがうかがわれる。

(1) 横揺れが  $30^\circ$  を越えるようなときには、意識的な変針、減速によって揺れのひどくなるのを避けている。

(2) 縦揺れの場合は両振幅で  $10^\circ$  以上になると意識的に変針、減速を行っている。

(3) 前者は積荷の固縛の安全を考慮したためであろうし、後者は第1には船首部に対する波浪外力を軽減するためと、第2には青波をかぶることによるコンテナ自体の損傷をさけるためであろう。

(4) 避航の方法として意識的にコースの変更する場合と減速する場合、およびその両方を併用する場合があるがまず始めに針路変更を行いそれで避けられない場合に減速している。

(5) 風力8以上の荒天に遭遇した場合に意識的な減速、または変針によって避航を行っているので、本船の場合、風力8がちょうど荒天避航の境目となっているといえる。

Table 7.1 Navigating Records at Rough Sea

T. No.	Ship Speed kt	Wind Scale	Encounter Angle of Wave	Acceleration		Roll $\varphi_{\max}$ deg	Pitch $\theta_{\max}$ deg	Alter Course	Speed Down	Remarks
				$\ddot{Y}_e$ g	$\ddot{Z}_e$ g					
9	24	6	Quarter	0.4		24				
13	25	7	Quarter or Follow	0.35		27		●		
14	24.5	7	Beam							
15	24	7	"	0.5	0.5	25	9	●		Speed Down for Inspection of Lashing at the End of Measuring
20	21	7	Beam					●		
24	22.5	7	"					●		Passing the Front
25	21	7	Head			0.35	8			Passing the Front at the Beginning of Measuring
26	19.6	7	Bow			0.5	13	○	○	Alter Course
28	22.5	7	"							
34	26	5	Quarter	0.45		24		●		Passing the Front
36	23	8	Head					○	○	Alter Course & Speed Down
37	12	8	"				13 (17)	○	○	
111	19	7	Head			0.4	7	○	○	Shudder
112	9	7	Bow			0.35	12	○	○	Shudder
113	9	8	"			0.7	11		○	
114	12	7	Head			0.5	10	○	○	Speed Down, Inspection of Lashing
118	22	6	Beam				22			
123	21	7	Head or Bow			0.45		●		
124	19.5	7	Bow			0.6		●		
125	18	10	"				31		○	Alter Course for Heavy Rough Bering Sea
126	22	7	Bow or Beam					●		
130	12	9	Bow			0.6	11	○	○	Passing the Front, Heavy Rough Sea, Speed Down
132	19	8	"	0.45				●		

○: by Handling to Avoid Heavy Motion

●: the Cause of Rough Sea

## 8. コンテナの挙動に関する結果と考察

### 8.1 一般

コンテナ関係の諸計測項目 (Table 4.2 参照) は数が非常に多いため、数グループに分けて計測し各計測ごとにコンテナの挙動に関しては入力となるコンテナ内加速度と横揺角とを同時に計測した。全計測時間があまり長くなり海象の変化が生じることを避けるため、各グループの計測時間は 5 ~ 6 分間とした。

また、データの多くはヴィジグラフに記録したため、これをカーブリーダにかけてデジタルテープを作成し、以後の処理は船研共用電子計算機 FACOM 270-20 を用いて行った。データのサンプリング間隔は 1 sec としたため、データ数は平均およそ 350 であり、スペクトラム解析のためには不足であるが止むを得なかった。解析はすべてサンプリング値の平均値をゼロレベルとし、特記しない限り振幅は全振幅である。

スペクトラム解析のラグ数は 50 とし、window は  $W_2$  を用いた。スペクトラム計算は周波数  $f (= \omega/2\pi)$  で行っているため、次式のとおり縦軸のエネルギー密度の値は前掲の船体運動の解析結果に比べ  $2\pi$  倍だけ大きく表わされている。

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\omega\tau) R(\tau) d\tau \quad (8.1)$$

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i2\pi f\tau) R(\tau) d\tau = 2\pi \cdot S(\omega) \quad (8.2)$$

また、現象波形の極値を求めるためには、その前後 3 点のサンプリング値から 2 次曲線と仮定して極値を計算で求めたが誤差は殆んど認められなかった。なお、波形のゼロクロス以外の極値もすべてとりあげていて、小振幅の頻度分布がやや多く表わされている。すべての現象の振幅  $H$  は船の横揺れ等と同様 Rayleigh 分布にほぼ適合すると考えられるので、

$$p(H) = \frac{2H}{E} \exp\left(-\frac{H^2}{E}\right)$$

$$E = \sum H_i^2 / N$$

$$H_{1/3} = 1.415 \sqrt{E}$$

として有義値  $H_{1/3}$  を求めた。

なお、以下に示す記号はすべて Table 4.2 に示した記号であり、ラッシング張力は kg または 3 段コンテナの全重量  $W$  で除した張力係数で示し、コンテナの応力は歪値または応力値で示し、またコンテナ内横加速度の記号は AHC で、同上下加速度は AVC でそれぞれ示した。なお、AVF と記したものは船首 (F.P.) における上下加速度である。

解析方法を大別すると、各現象の振幅の瞬時値の相関関係を調べるいわばミクロ的な一般的現象解析、全振幅の分散から変動の期待値を求める統計解析、およびスペクトラム解析とに分けられる。

### 8.2 一般的現象の解析

同時に計測した加速度または横揺角と諸計測値 (サンプル値) との相関関係を求めてみると、横揺角と各値との相関関係はあまり強くなく、相互相関係数が極めて低いか、または相関係数が高くて対応する振幅極値が極く僅かしかない。

一方、加速度との相関は各値によりかなり顕著な傾向が認められ、相互相関係数のばらつきも少ない。まず 1 次航についていえば、斜ラッシング部材の張力は横加速度との相関が高く、その相互相関係数の値はどの斜ラッシング部材でもほぼ等しい。また垂直ラッシング張力は上下加速度とかなり高い相関を示し、コンテナ端面枠の応力 (記号 RP のついたもの、Table 4.2 参照) と上下、横面加速度との相関係数には殆んど差は認められない。しかし、斜ラッシングを除いた第 2 次航においては、垂直ラッシング張力と上下、横面加速度との相関係数には殆んど差はなくなり、端面枠応力と横加速度との相関が高くなり、同様にして端面枠

Table 8.1 Cross Correlation Coefficients of Accelerations and Lashings

Members		Diagonal Lashings	Vertical Lashings	Stress of Door Frame	Deformation
Voyage	Acc.				
1st	A V C	0.334	0.694	0.564	—
	A H C	0.841	0.368	0.492	—
2nd	A V C	—	0.691	0.309	0.255
	A H C	—	0.696	0.813	0.923

の変形値も横加速度との相関が高い。相関係数はいずれも類似グループの値については大差がないと認められるため、数十例についてグループごとに平均値としたものを Table 8.1 に示した。

以上のことから、斜ラッシング部材は横加速度に対して有効に働き、垂直ラッシング部材は上下加速度に有効に働くと考えられる。しかし、斜ラッシングを除くと垂直ラッシングは両加速度に対して働くかわりに、横加速度に対する拘束力が低いため横加速度による racking force によりコンテナ端面枠の応力および変形が顕著になるとと考えられる。

諸計測値の振幅極値について、加速度との相関係数が低いものにあっては、加速度との量的な関係を表わすことはできないが、相関係数の高いものは両者の間に一応線型の関係が認められる。Fig. 8.1 a~g にその数例を示したが、積荷条件が変わらないある片航海中にあってはこの関係はほぼ一定であり、同図も数回分の計測結果を重ねてプロットしたものである。この図から一応加速度に対するラッシング張力やコンテナの応力を推定することができる。Fig. 8.1 から最小二乗法により求めた加速度  $1g$  当たりの張力、応力および変形の平均値の一例を Table 8.2 に示した。相関係数が低く値が散らばっているため意味がないと思われるものは除いてある。

ラッシング部材の張力について、船首尾方向の同等な部材（たとえば FSD と RSD 等、Table 4.2 参照）はほぼ同一な値を示し、また左右舷方向で対称な部材（たとえば RPD と RSD）もあまり大差はないものと予想していたが、Table 8.2 に示すようにかなり相異しており、特に左右舷の対称的なそれは大差があり、斜めラッシング部材では約 2 倍、垂直ラッシング部材のみの場合には約 4.4 倍に達している。この理由として、コンテナの重心が決して中心ではなく、また供試コンテナの上に積載されている 2 個の一般のコンテナ

の荷重が決して一様に各枠柱にかかるっていないことが考えられる。したがって racking force による横荷重も一様ではなく、各枠柱およびそれを拘束しているラッシング部材ごとに荷重が異なるものと思われる。さらに、コンテナの剛性が左右で対称でないことや、ラッシングの初期張力が同一でないことも、上記の影響を助長しているものと思われる。また船首尾方向の差に対しては pitch, yaw の影響があると考えられる。

また、個々の計測データごとについてみても、だいたい張力が高いものは斜めラッシングでは FSD または FPD の船首側のものであるが、時には RPD の船尾側が張力が大きい例があり、垂直ラッシングでは RPV が最も大きい例が多いが 1 次航復航では RSV が大きい例が多い等様々であり、これらの現象を合理的に説明することは現状では不可能のように思われる。

ラッシング張力の変動の大きさについて概略的に述べれば、Table 8.2 または前掲の Fig. 5.1 b~5.4 b に示したように、常に斜め部材が垂直部材より数倍も大きく、その最大値は T. No. 26 における  $2,500 \text{ kg}$  (張力係数 0.103)、垂直部材の最大値は T. No. 114 (2 次航) における  $900 \text{ kg}$  (0.067) であった。またコンテナ応力の最大値は T. No. 9, 15, 104 および 111 における  $2.5 \text{ kg/mm}^2$  であった。これらの変動値の大きさについては、さらに次の統計解析で詳しく述べる。

なお、各現象の初期値を計測することは荷役作業との関連から極めて難しく、今回の実験においては偶然にも数点測れたに過ぎなかつたが、ラッシング張力の初期締付け力は  $1.8 \sim 2.9 \text{ ton}$  であり、コンテナ枠柱の荷重応力（上に 2 段積載したため）は約  $3.6 \text{ kg/mm}^2$  であった。また、最上段コンテナが動搖によって跳び上るという現象は認められなかつたようである。

### 8.3 統計解析

計 70 回の計測の中より、なるべく動搖、加速度の大きかった例を選び出してヒストグラムを求めるものを

Table 8.2 Mean Amplitudes of Lashings vs. Accelerations

Voyage	Members	Diagonal Lashings (kg/g)			Vertical Lashings (kg/g)		Stress of Door Frame (kg/mm <sup>2</sup> /g)		Deformation (mm/g)
		F S D	R P D	R S D	R P V	R S V	R P 1-1	R P 3-1	
1st (Home)	A V C	—	—	—	510	645	1.62	1.86	C (S)
	A H C	2,658	1,383	2,550	—	—	2.52	3.17	
2nd (Home)	A V C				1,627	611	—	—	—
	A H C				3,033	685	3.81	2.41	

Fig. 8.2 に示した。これらの例より、roll, 加速度のみでなく、ラッシング張力、コンテナ応力および変形等もすべて Rayleigh 分布に従うと認められる。全般的にいえば、動搖または加速度が大きいほど張力、応力等は大きく、また垂直ラッシング部材張力より斜めラッシングの方が大きい。しかし、前述のとおり横搖角との相関ははっきりせず、また縦横両加速度の関係も海象により一定でないため、一概に述べることはできない。

そこで、両加速度の有義平均値のベクトル和が船首尾方向に直角な平面内の真の加速度の有義平均値であると仮定し、これがコンテナの挙動に一義的に影響を及ぼすとの予想の下に整理したものが Fig. 8.3 である。瞬時値ごとに加速度のベクトル和を求めてその有義平均値を求めなかったのは計算の手数を簡略化したためであって、統計的に変動の期待値を求める上にはこの程度で充分と思われる。また、ラッシング張力は先にも述べたように、前後または左右対称なものでもかなりの差があるため、これを平均したものが Fig. 8.3 a~c である。1 次航においては往復航路ともコンテナ全重量には大差がないが重心高が異なり、2 次航では重量も異なるため、いずれもラッシング部材張力には差が生じている。したがって張力をコンテナ全重量で除した張力係数を用いてもあまり意味がなかったといえる。コンテナ重心高さおよび動搖中心を推定し、重心にかかる推定加速度を用いて整理してみてもやはり両者は一致しない。これは横搖れ以外の船体運動による加速度が大きいためであろう。しかし、同一積載条件においては加速度(有義平均値のベクトル和)と平均張力有義値とはほぼ線型の関係にあると考えてもよいように思われる。

斜めラッシングの平均張力有義値の最大のものは1次航往航の T. No. 15 における 941 kg(張力係数 0.0390) であり、垂直ラッシングについては、1 次航では T. No. 15 の 273 kg (0.0113), 2 次航では T. No. 114 の 248 kg (0.0184) および T. No. 130 の 256 kg (0.0119) であった。また計測された中での最大の張力有義値は1 次航では T. No. 26 における 1,183 kg (0.0487), 2 次航では T. No. 130 の 392 kg (0.0183) であった。

コンテナの応力についてもラッシング部材と同様、加速度ベクトル和との間に同様の関係が認められる。応力の中でも比較的高かったに RP 3-1 について各航海ごとの有義応力を示したものが Fig. 8.3 d である。

#### 8.4 スペクトラム解析

上に述べた同一実験例についてスペクトラム解析を行った結果を Fig. 8.4 に示した。ほとんどすべての roll の主成分は 2.9~3.5 c/min (17~20 sec 周期) のところにあり、この辺が船体横搖の固有周期であろう。横加速度 AHC のスペクトラムは大別して 3 種類に分類できる。

その一つは横搖れ周期に相当する所にただ一つの卓越した成分が存在するものであり、T. No. 9, 17 および 104 がそれに当たる。このような場合には斜めラッシング張力、垂直ラッシング張力とも同一周波数にただ一つの卓越した成分が存在する。上下加速度 AVC は縦搖れ周期と推定される 8.5 sec 付近に大きな卓越成分が存在するが、横搖れ周期の所にも卓越成分があり、T. No. 104 ではこの成分が最大となっている。すなわちコンテナの挙動に影響を及ぼす外力は殆んど船体横搖れのみに基因すると考えられるものであって、コンテナの応力変動も殆んど横搖れ周期の成分だけである。T. No. 15, 22 および 118 も AHC のパターンからだけではこの分類に入ると思われるが、むしろ後述する第 3 の分類に入れるのが適切であると思われる。

第 2 の分類は T. No. 26, 27 および 37 に示すように、横加速度 AHC には 2 つの卓越成分があるが、横搖れ周期の成分よりも縦搖れ周期の成分がはるかに大きなものである。この場合には斜めおよび垂直のラッシング張力の卓越成分は縦搖れ周期に一致し、横搖れ周期成分が極めて低いばかりでなく、垂直ラッシング張力にはさらに高周波部分の約 6.5 sec 周期の成分が存在する。これはおそらく上下搖れの成分と推定され縦加速度 AVC にも現われている。すなわち船体の縦搖れによる影響が極めて強い場合であって、横搖れの影響は極めて弱く、コンテナの応力変動も殆んど縦搖れ成分が主となっている。

第 3 の分類が最も数多く見られたものであって、T. No. 28, 114, 123, 124, 130, 132 および前述の 3 ケースである。すなわち、横加速度には横搖れ成分と縦搖れ成分の 2 つが卓越して存在し、斜めラッシング部材張力も全く同様である。さらに垂直ラッシング張力は縦搖れ成分が最も卓越して現われており、横搖れ成分は現われている場合といない場合とがある。したがってコンテナ応力も両成分とさらにそれ以外のものが現われている。また縦加速度は縦搖れ周期よりやや高周波側にずれて上下搖れと思われる卓越した成分が現わ

れる傾向がある。すなわち、この場合は横揺れと縦揺れ、さらに上下揺れが混合した状態と想像され、その混合の程度により様々なスペクトラムパターンが生じるものと思われる。

なお T. No. 21, 29 はやや違ったスペクトラムであり、前者では roll 周期がやや短く、後者は roll, pitch の中間の周期の所に卓越した成分が認められる特殊なケースと思われる。

### 8.5 コンテナの変形と応力

供試コンテナの racking による変形と応力の関係は、製造時に耐力試験を実施しており、その結果は Fig. 8.5 (下図) に示すとおりである。racking force を与える手法としてコンテナ端面枠の上端を引張る方法と、反対側に圧力を加える方法とがあり、その結果は図のように僅か異なる。なおコンテナ応力の中で最も大きいのが図示した位置の RP1-1, RP3-1 であり、両者にはあまり差が認められず、また端面枠対角線の変形量絶対値も殆んど差がない。実船実験においても同位置の応力、および同じ変形量を計測したので、これらの有義平均値を同じ図上に記入したものが Fig. 8.5 (上図) である。すなわち実船実験の結果は、耐力試験のそれに比べて著しく低く、甲板積されたコンテナの端面枠の強度は疲労を考慮したとしても全く問題がないと思われる。また変形と応力の関係は耐力試験のそれと類似しているため、甲板上のコンテナにかかる荷重の様式も耐力試験のそれとほぼ類似なものと考えてよいであろう。

### 8.6 コンテナの挙動についてのまとめ

甲板積されたコンテナの挙動について解析を行った結果、まずラッシング部材の張力変動については、斜め垂直併用の場合は斜め部材が大きく垂直部材はその約 1/3 以下である。これはコンテナが動揺と racking force によって変形することを考えて予想していたとおりであったが、対称に配置された同じ部材の張力に約 2 倍の差を生じたことは全く予想外のことであった。斜め部材を除いた垂直ラッシングのみの場合には、当然垂直部材の張力は増加するが、やはり対称の部材で約 4.5 倍の差が生じた。前者の場合の 1 往復航海を通じて認められた最大値は瞬時値で 2,500 kg、有義値で 1,183 kg であり、後者の場合はそれぞれ 900 kg, 392 kg であった。

斜めラッシング部材の張力は横加速度との相関が高く、垂直部材は縦加速度との相関が高いが、斜め部材を除くと垂直部材と横加速度の相関も上り、またコン

テナ端面枠の応力および変形の横加速度との相関が著しく高くなることが認められた。

このように加速度との相関が高いものにあっては、各加速度との間にほぼ直線的な関係があるが、実用的にラッシング張力を推定するためには現象の短期分布より期待値を求める方がより適切であると思われる。ラッシング張力振幅の分布は加速度と同様ほぼ Rayleigh 分布に適合しているため、その分散より有義平均値を求め、縦横加速度の有義値のベクトル和と、対称位置にあるラッシング部材の張力有義値の平均値、との関係を求めるとき、同一積載条件においてはほぼ線型の関係が成立することが認められた。したがって、甲板上のコンテナ積載位置における加速度の期待値から、そのラッシング張力の期待値を推測することができる。

スペクトラム解析の結果より、船体運動のうち特に横揺れと縦揺れの強さの割合によりラッシング張力変動の主成分がそれぞれ異なることが認められ、横揺れだけがコンテナに影響を与えるような状態にあってはラッシング張力変動は横揺れ周期の主成分のみとなり、反対に縦揺れの影響が極めて強く横揺れが少ない場合にはラッシング張力変動は縦揺れ周期およびそれ以上の高周波成分のみとなる。そして両者が混在する場合には、それぞれの周期のところに卓越した成分が現われるが、両者の大きさの割合に応じてエネルギー密度が異なり、さまざまのスペクトラムパターンが生じる。したがって張力振幅の瞬時値といずれかの加速度との相関があるとはいえ、大変ばらつきが大きくなつたこと、またコンテナの積載条件（全重量および重心高さ等）による影響を解析し得なかつたこと、等もこのような理由によるものと思われる。

コンテナの応力についてもほぼラッシング張力と類似の現象が認められるが、応力と変形の大きさはコンテナの耐力試験のそれと比較すれば極めて低いものであり、甲板積みされた racking を主に考えねばならない状態に関する限り充分な強度を有していると考えられる。

以下に多少推測を混じての感想を述べる。コンテナに限らず、一般に貨物の仕様は千差万別であり、積載条件を個々について把握することが不可能であり、適当な単位ごとにマクロ的にしか見ることができない。コンテナは寸法と最大重量、あるいは耐力強度等に関しては規格化されているため、このような実船実験により甲板積コンテナの挙動をある程度までは普遍

的に解析することができたといえるが、やはり積載条件による影響を解析することができなかつた。また、対称的配置のラッシング張力の大きさについては予想外の大きな差が認められ、このデータはそれなりに価値はあると思われるものの、その理由を解析できなかつた。同一舷側の同じラッシング部材（たとえば FPD と RPD、あるいは FSV と RSV）の張力の合計は、加速度に対して一定の関係があると予想されるが、加速度の方向と大きさがそれぞれ不規則変動であるため統計的解析にたよらざるを得ず、本報告ではそれを簡略化した便法を用いてみたものである。眞の現象解明のためにはやはり模型実験によるべきであろう。しかし、前にも述べたように、コンテナ重量、重心位置、racking に対する弾性率（これもコンテナの扉側と他端とで異なる）、ラッシングの締付け力、等かなり人為的な要素もあって予想し得ない要因が多く、さらにコンテナの積載場所ごとの加速度分布をも船型ごとに把握しなければならないであろう。このあたりに積荷の挙動解析が、船体の挙動または船体強度の解析に比べて変量の数が格段に多く、難しさも多い理由がある。

ラッシング方法については 1 次航のような斜め垂直併用の方法が現在の代表的なものであり、2 次航のように斜め部材を除いた方式は実績も少ないとと思われる。実験結果より推測する限りにおいては、船体中央部付近で最上段コンテナが空または極く軽量の場合には問題がないと思われるが、船首付近に積載した場合および 3 段コンテナが全部満載のような場合には、荒天時には不安があるため避けた方がよいと思われる。

### 9. おわりに

本実船実験は、シーマージン、耐航性およびコンテナ関係をまとめて実施したものであり、従来の航海性能、または構造強度等を主にしたものに比べ、やや盛沢山のきらいがあり、そのために計測解析上の統一性に欠けた感があるのは止むを得なかつた。しかしながら各項目ごとの結論は 6, 7 および 8 章にそれぞれ述べたとおりであり、シーマージンについては資料集積のための一助となったものと信じられ、耐航性についてはすでに数々のデータがあるとはいえ本結果ではか

なり激しい揺れを記録しており、荒天中の動揺と操船に関して貴重な資料になるものと思われる。なお、船体運動の解析には、運動性能部小川、渡辺両氏の開発した解析プログラムを使用させていただいた。また、コンテナの挙動については、この類の公表された資料が皆無であり各方面の重要な参考となるものであろう。なお、筆者ら乗船者にとっては、実験航海全般を通じ海象、操船、荷役等にわたる貴重な体験を得たことも大変有意義であった。

本実船実験のためには、昭和海運株式会社、日本郵船株式会社、社団法人日本海上コンテナ協会、日立造船株式会社、三菱重工業株式会社、関東郵船運輸株式会社、関東海運局、横浜税関各関係各位の絶大な御協力をいただいたものであり、特に平山幸平船長、守屋銳治機関長、橋本須行一等航海士をはじめ穂高丸乗組の方々の御厚情による所が大きかった。ここに深く感謝の意を表すとともに穂高丸の安全な航海と活躍を心から祈るものである。

### 参考文献

- 1) 山内保文他；船舶技術研究所における実船実験、昭和44年度船舶技術研究所特別講演会 講演概要（昭和44年12月）。
- 2) 小川陽弘他；コンテナ船あめりか丸による北太平洋航海性能試験、船舶技術研究所報告 第8巻第2号、（昭和46年3月）。
- 3) 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究（第125部会）；日本造船研究協会、研究資料第157号、（昭和47年3月）。
- 4) 矢崎敦生他；ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能試験について、船舶技術研究所報告、第1巻第3,4号、（昭和39年7月）。
- 5) 高石敬史他；ニューヨーク定期貨物船山隆丸による北太平洋航海性能実船実験について（第1報）船舶技術研究所報告、第2巻第2号、（昭和40年3月）。
- 6) 上記 2) 第2報；船舶技術研究所報告、第8巻第4号、（昭和46年7月）。
- 7) 上記 2) 第3報；船舶技術研究所報告、第9巻第3号、（昭和47年5月）。
- 8) 小川原陽一他；コンテナ船のような高速ディーゼル主機の荒天時における調速、三菱重工技報 Vol. 8, No. 1, (1971)。

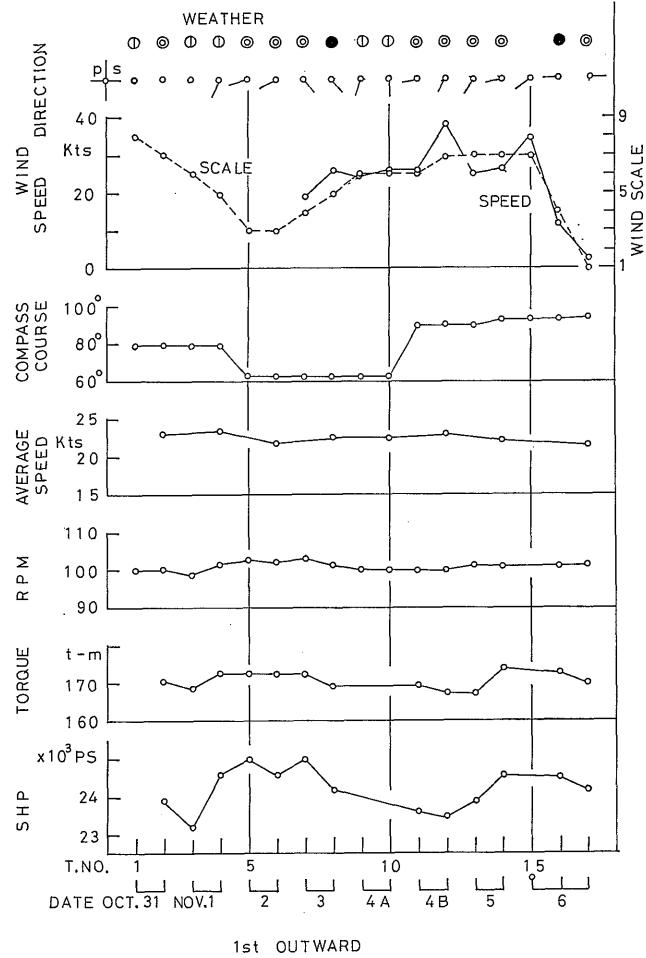


Fig. 5.1 a Navigating Conditions at 1st Outward Voyage (a)

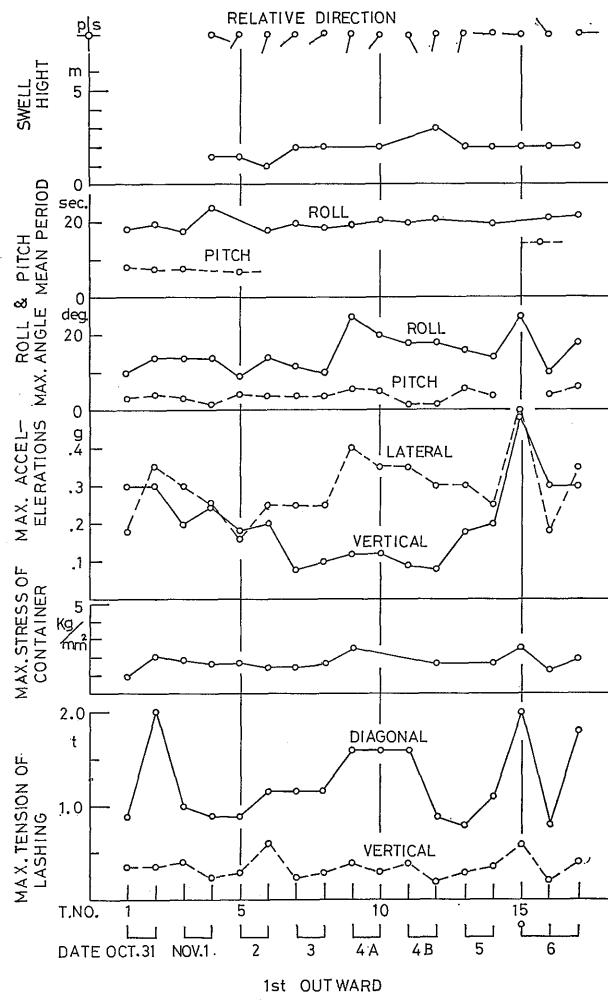


Fig. 5.1 b Navigating Conditions at 1st Outward Voyage (b)

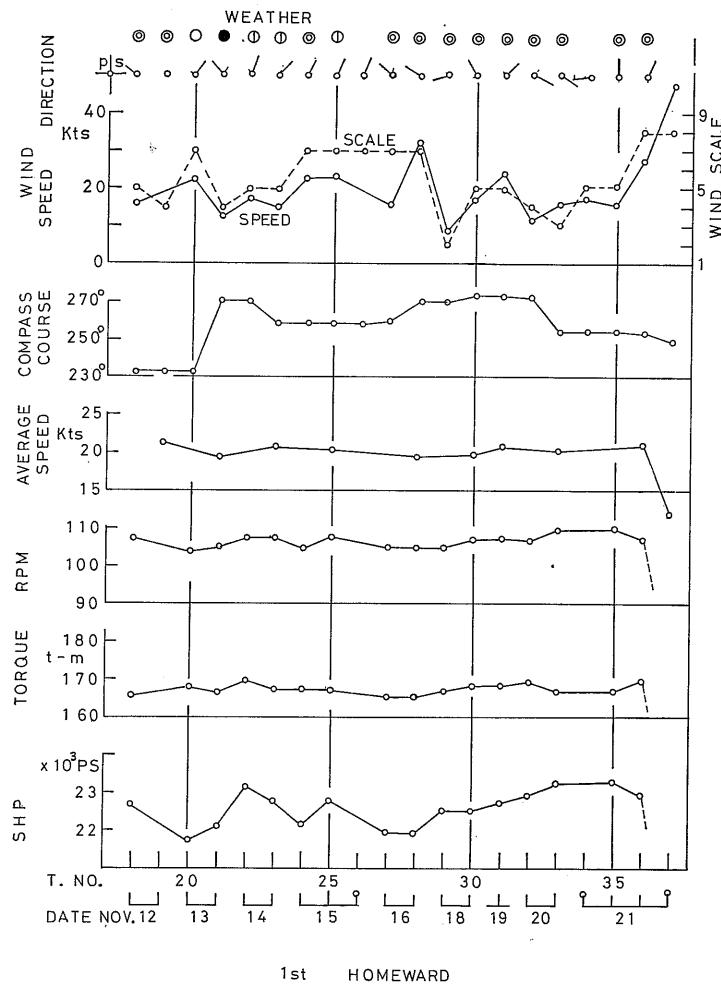


Fig. 5.2 a Navigating Conditions at 1st Homeward Voyage (a)

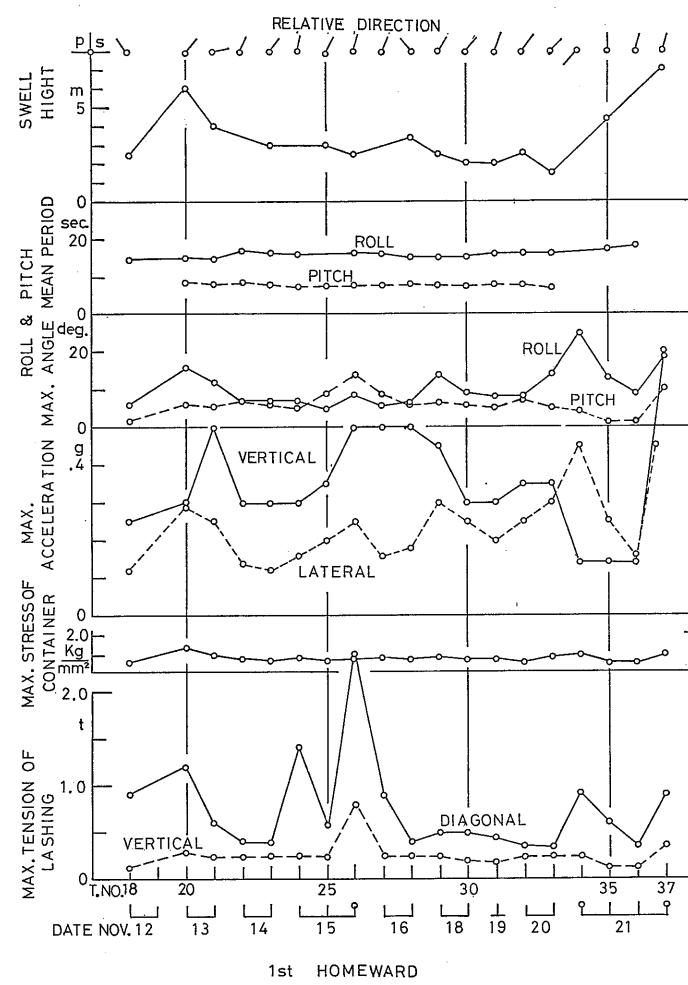


Fig. 5.2 b Navigating Conditions at 1st Homeward Voyage (b)

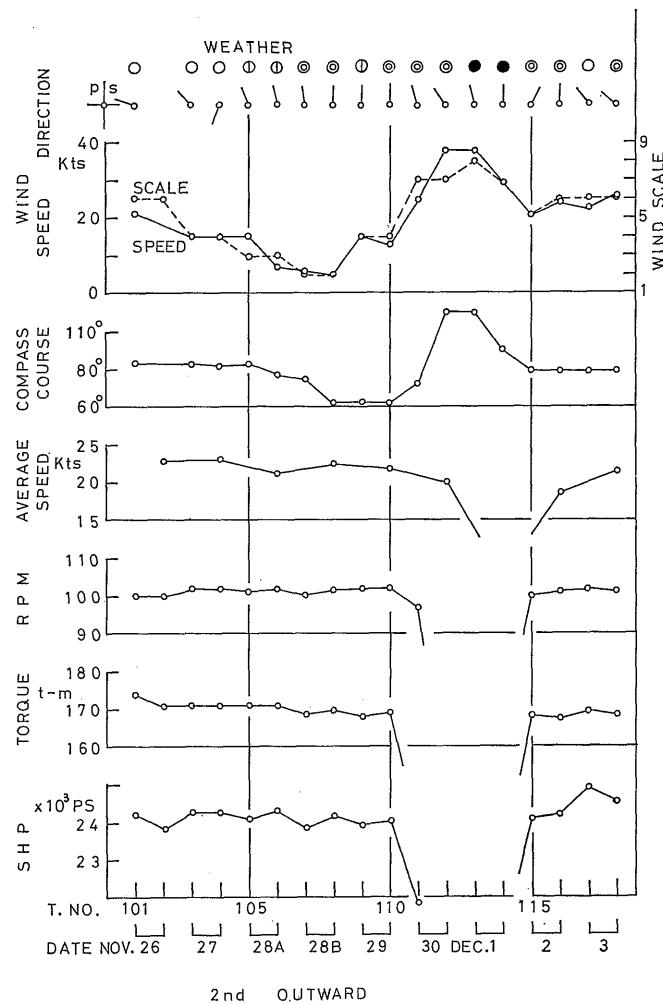


Fig. 5.3 a Navigating Conditions at 2nd Outward Voyage (a)

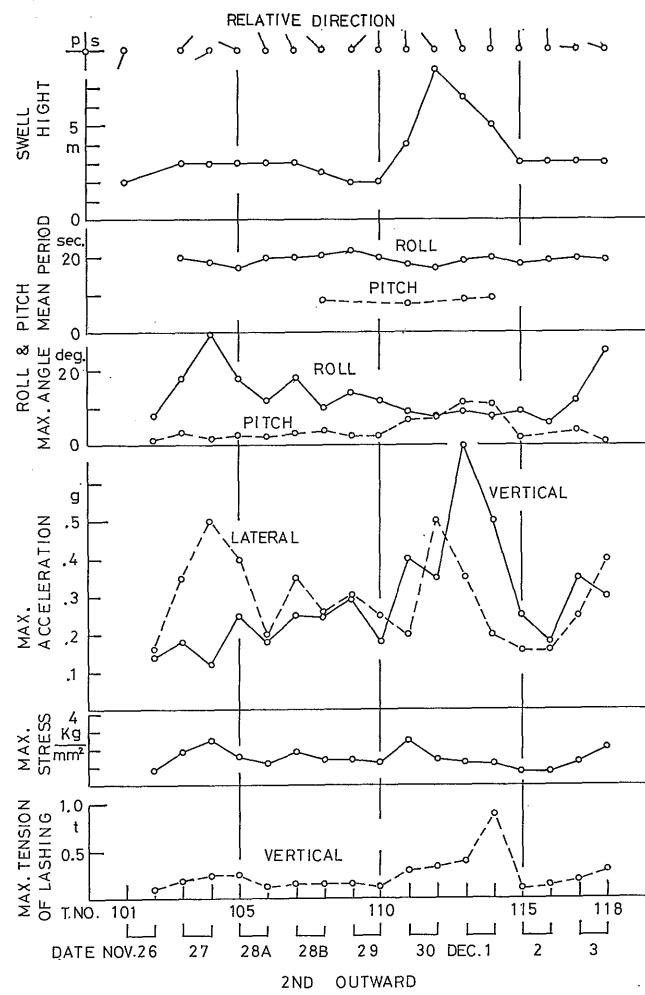


Fig. 5.3 b Navigating Conditions at 2nd Outward Voyage (b)

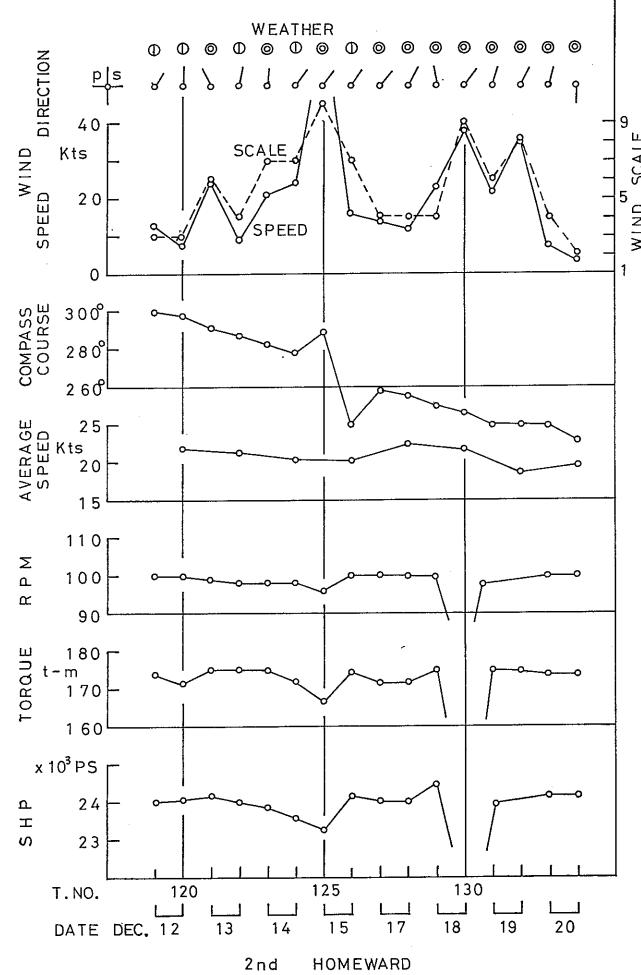


Fig. 5.4 a Navigating Conditions at 2nd Homeward Voyage (a)

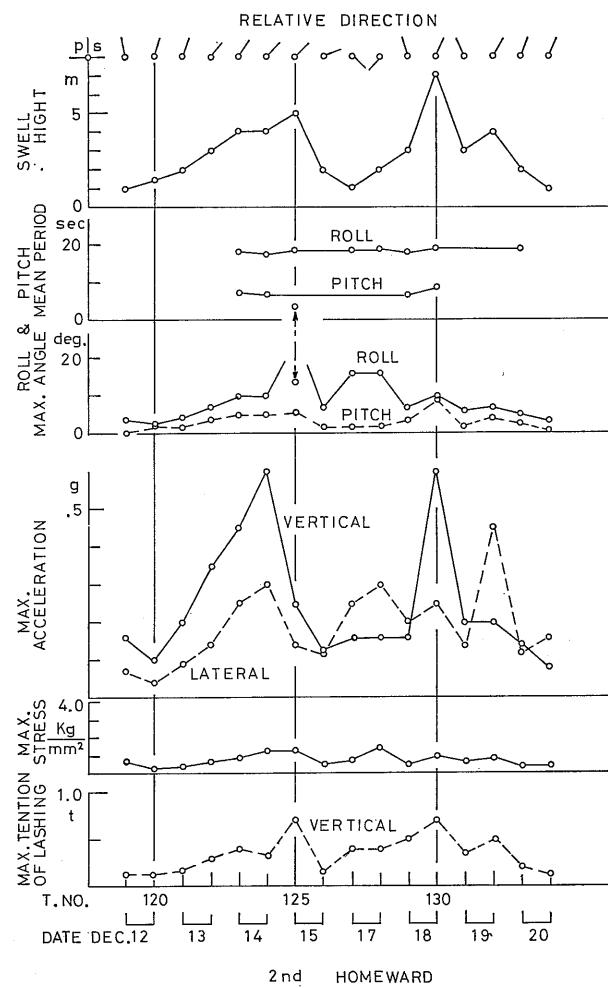


Fig. 5.4 b Navigating Conditions at 2nd Homeward Voyage (b)

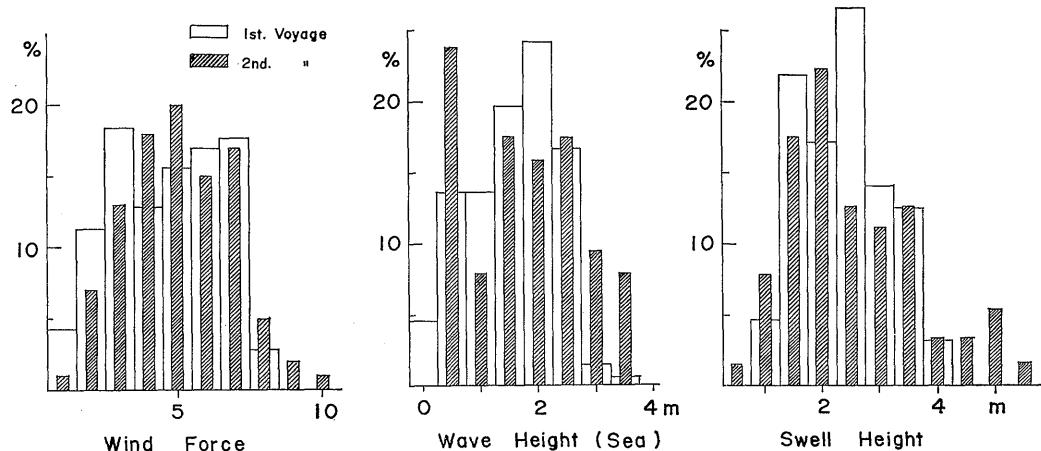


Fig. 5.5 a Histogram of Wind Force

Fig. 5.5 b Histogram of Wave Height (Sea)

Fig. 5.5 c Histogram of Swell Height

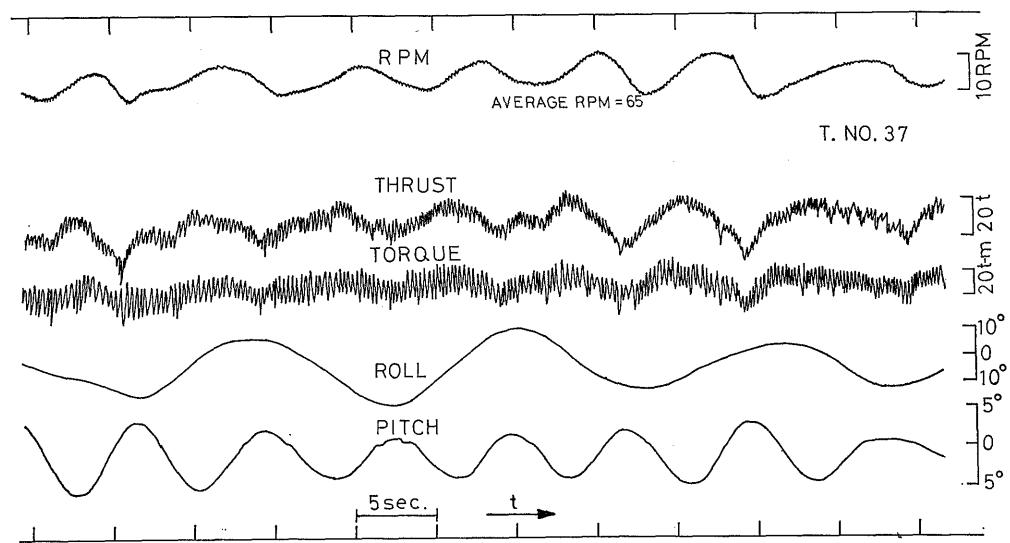


Fig. 6.1 Example Records of Engine Output

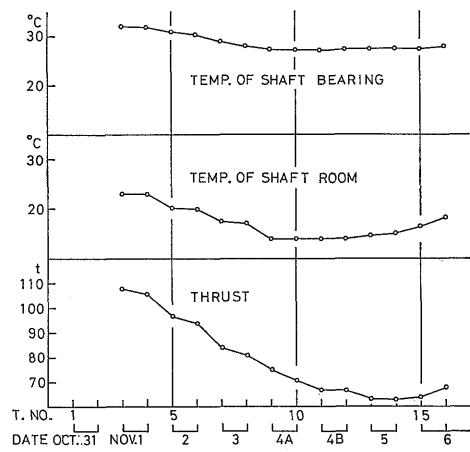


Fig. 6.2 Thrust and Temperature of Propeller Shaft

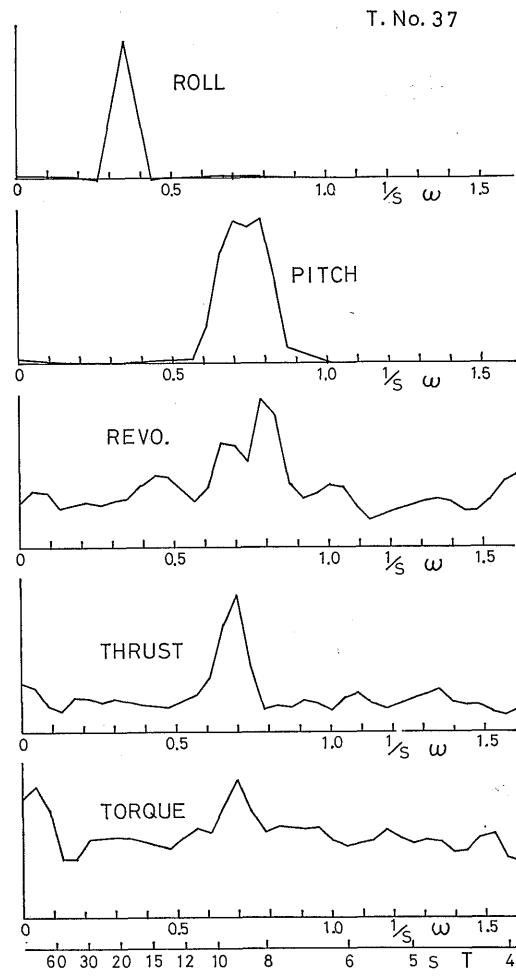


Fig. 6.3 Spectra of Engine Outputs (T. No. 37)

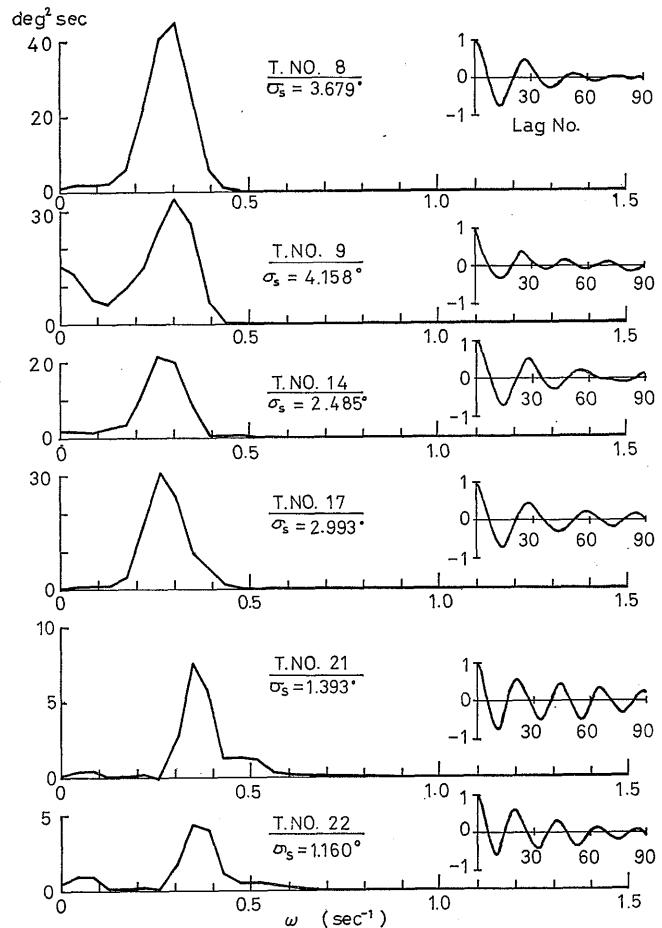


Fig. 7.1a Spectra and Correlograms of Roll (1st Voy.)

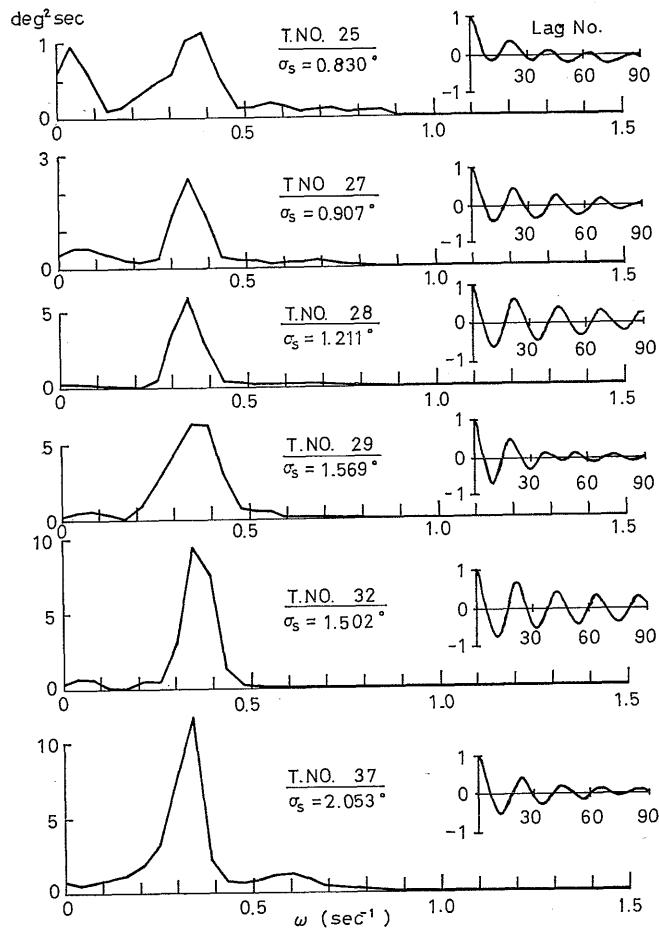


Fig. 7.1b Spectra and Correlograms of Roll (1st Voy.)

(314)

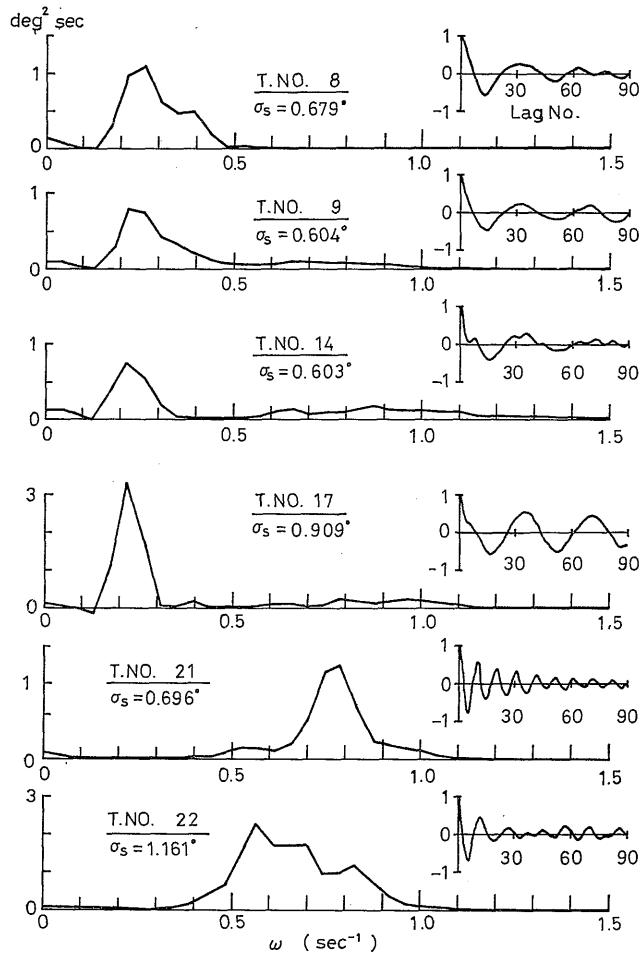


Fig. 7.2 a Spectra and Correlograms of Pitch (1st Voy.)

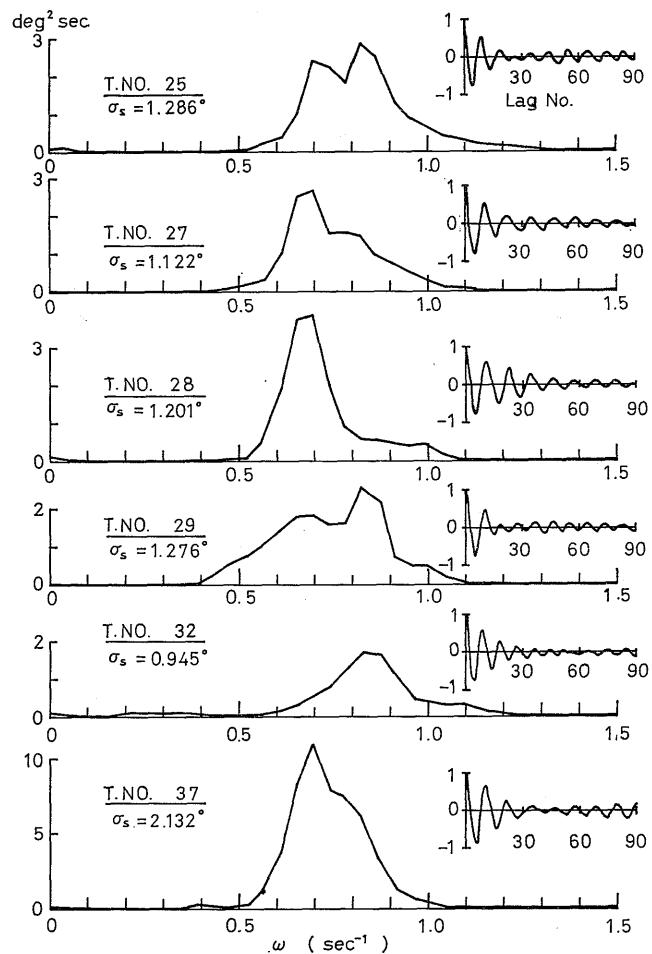


Fig. 7.2 b Spectra and Correlograms of Pitch (1st Voy.)

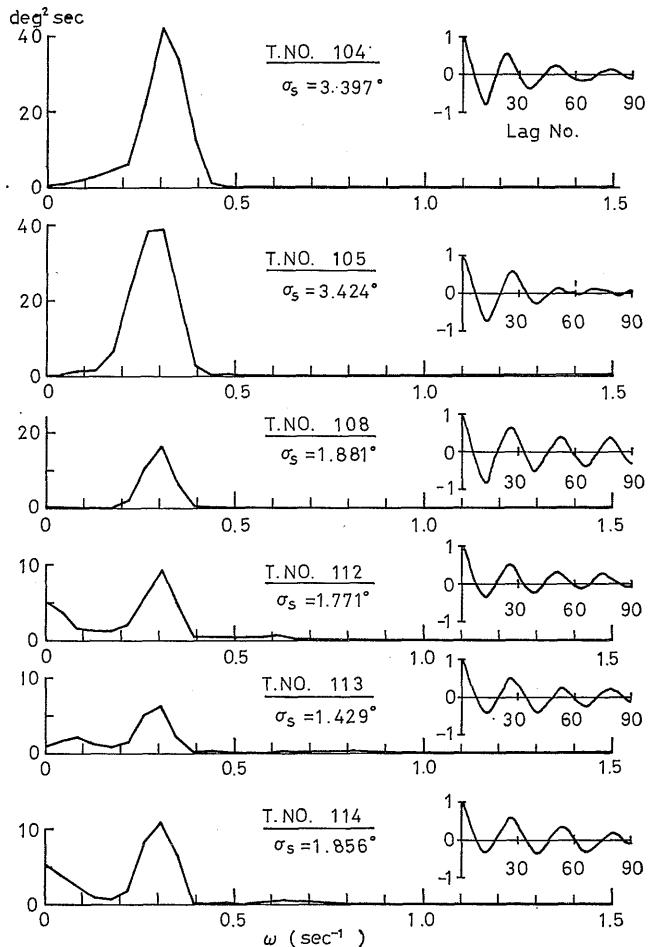


Fig. 7.3 a Spectra and Correlograms of Roll (2nd Voy.)

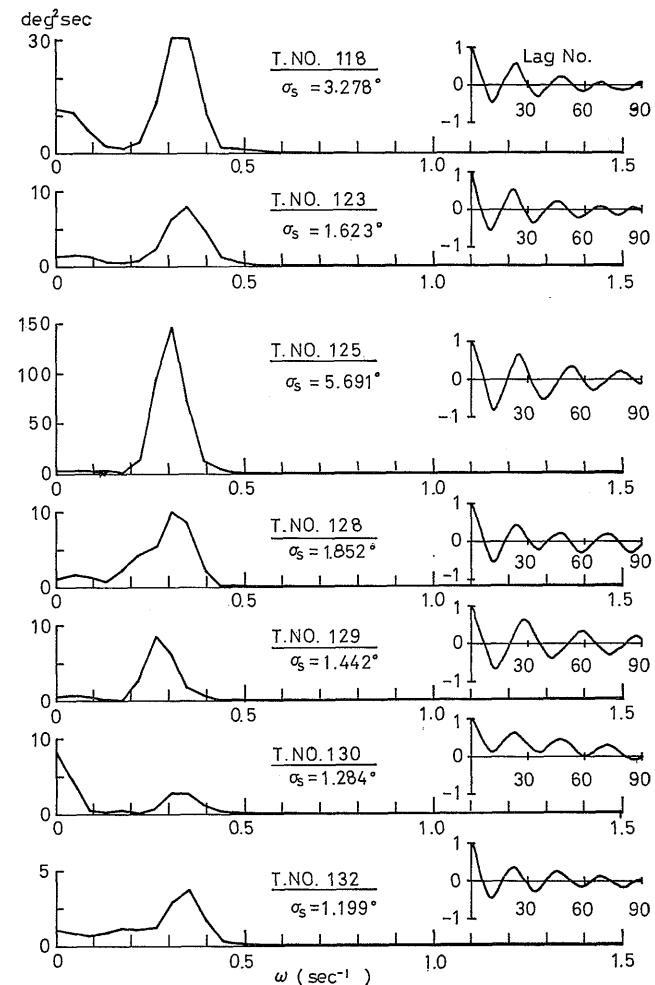


Fig. 7.3 b Spectra and Correlograms of Roll (2nd Voy.)

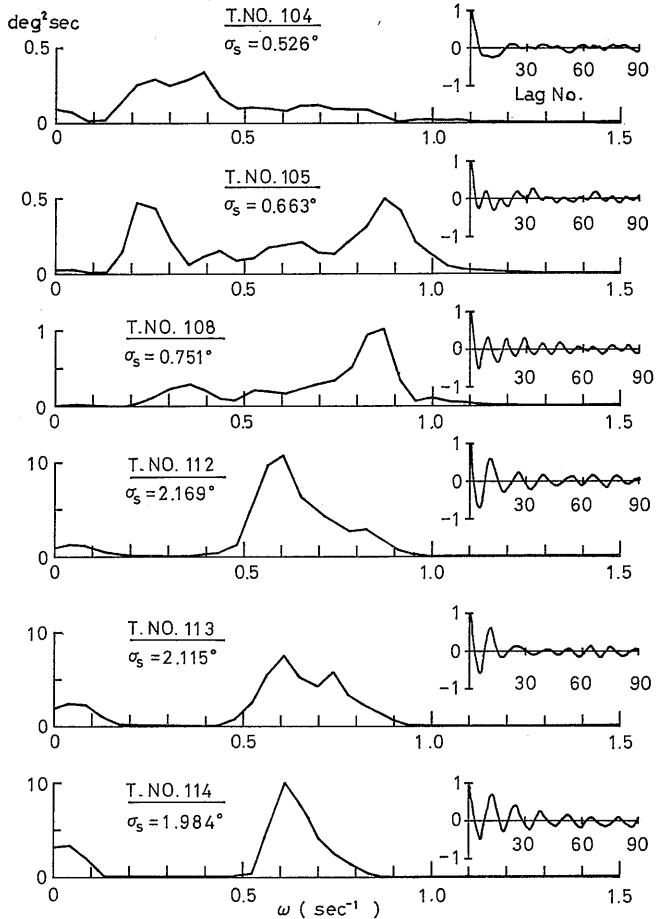


Fig. 7.4 a Spectra and Correlograms of Pitch (2nd Voy.)

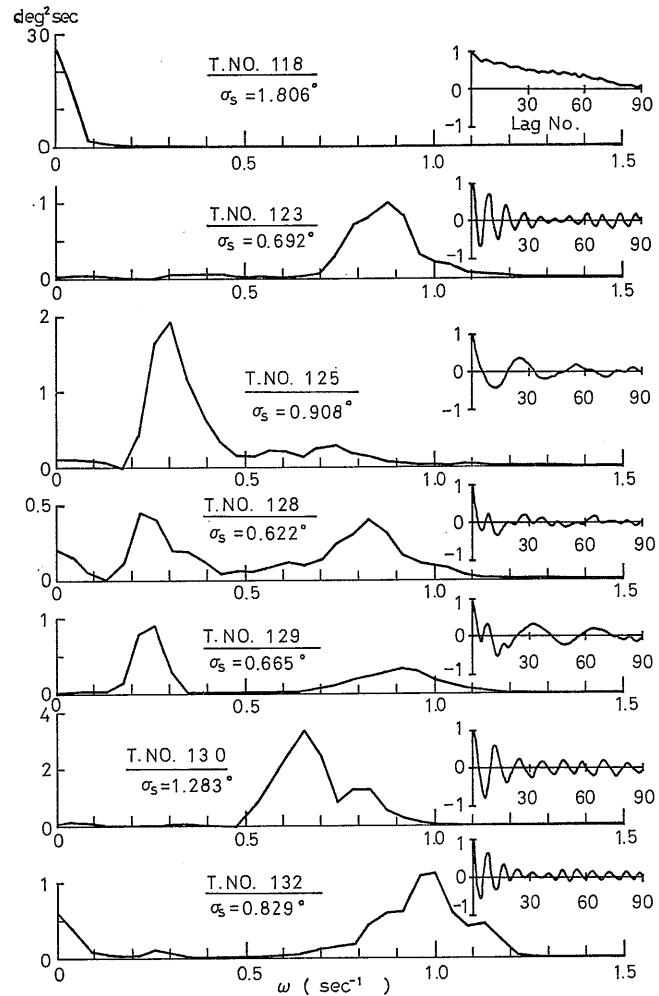


Fig. 7.4 b Spectra and Correlograms of Pitch (2nd Voy.)

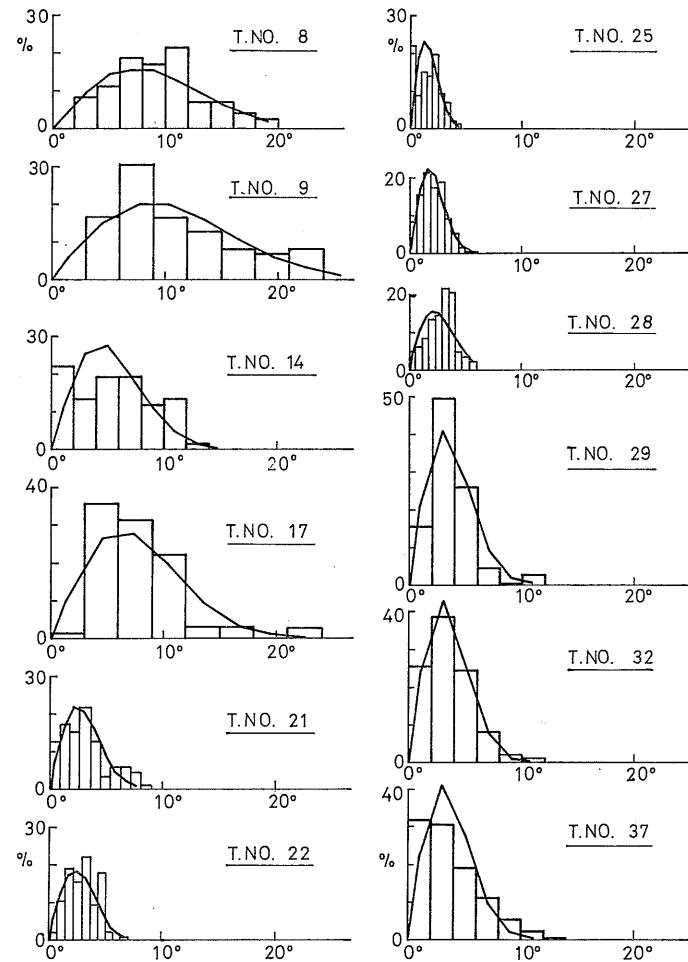


Fig. 7.5 a Histograms and Rayleigh Distributions of Roll (1st Voy.)

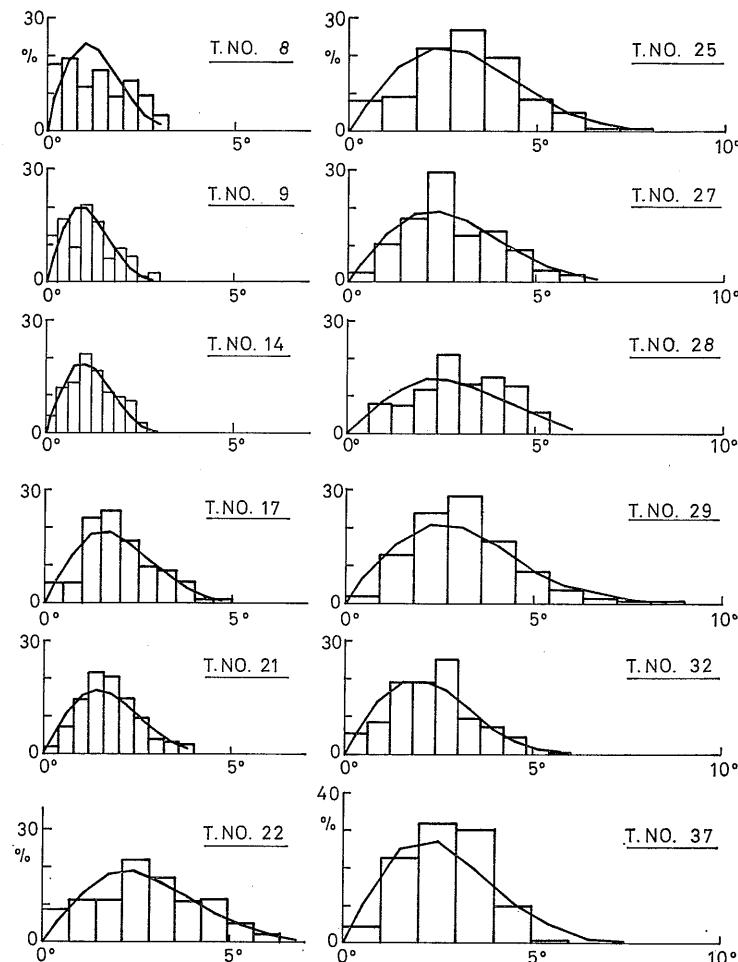


Fig. 7.5 b Histograms and Rayleigh Distributions of Pitch (1st Voy.)

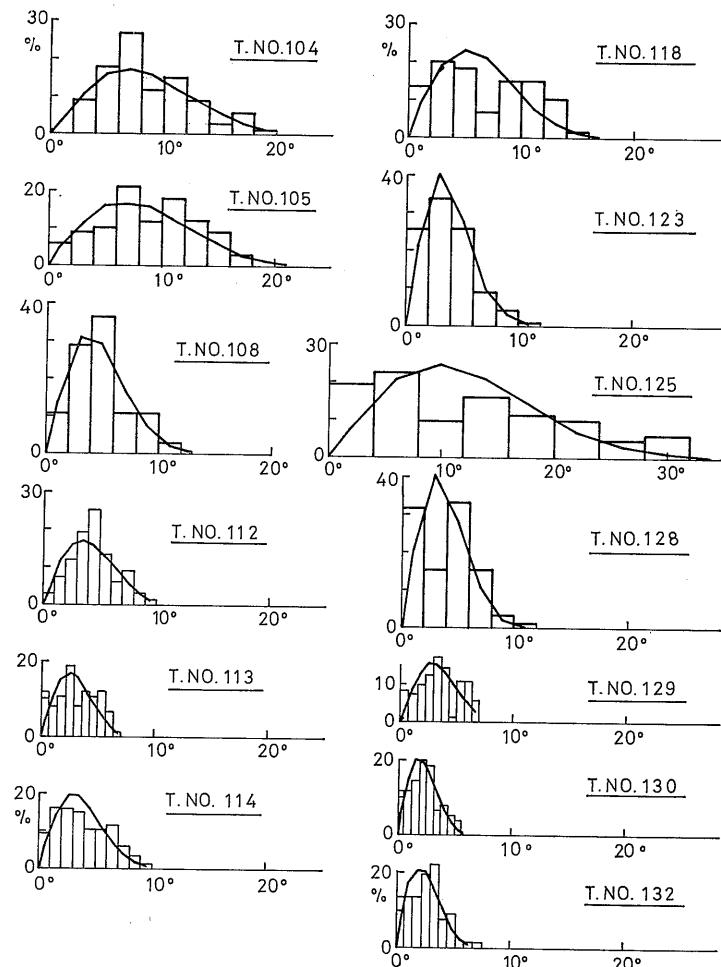


Fig. 7.6 a Histograms and Rayleigh Distributions of Roll (2nd Voy.)

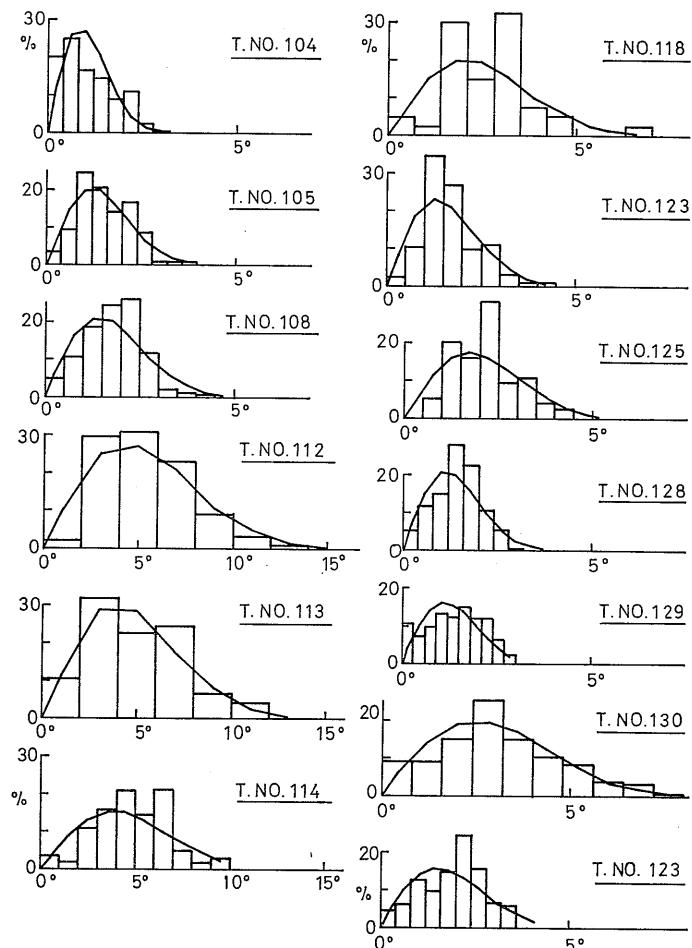


Fig. 7.6 b Histograms and Rayleigh Distributions of Pitch (2nd Voy.)

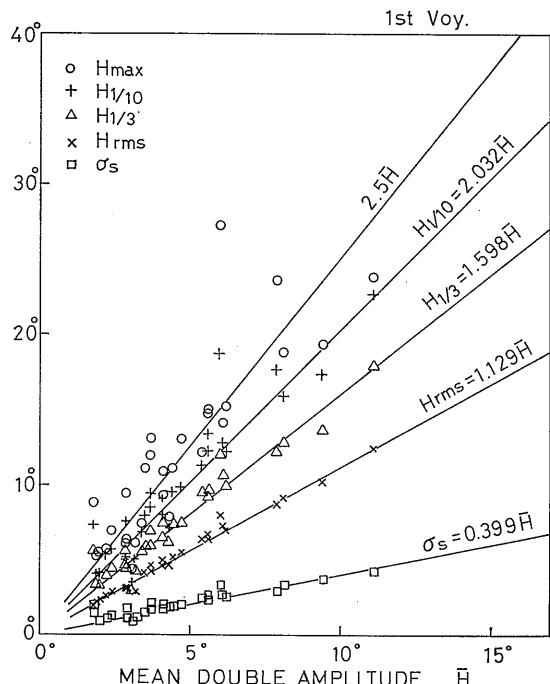


Fig. 7.7 a Double Amplitudes of Roll (1st Voy.)

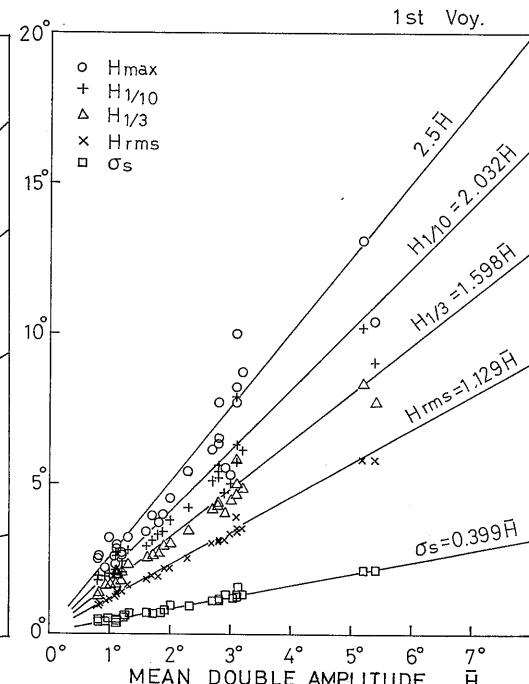


Fig. 7.7 b Double Amplitudes of Pitch (1st Voy.)

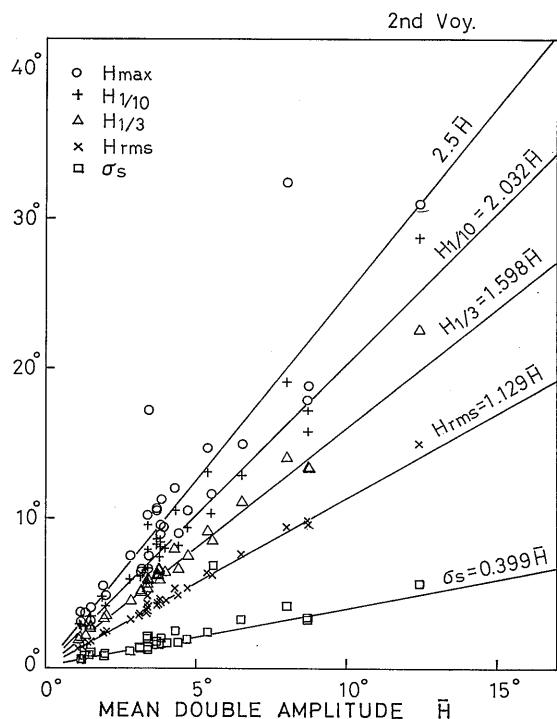


Fig. 7.7 c Double Amplitudes of Roll (2nd Voy.)

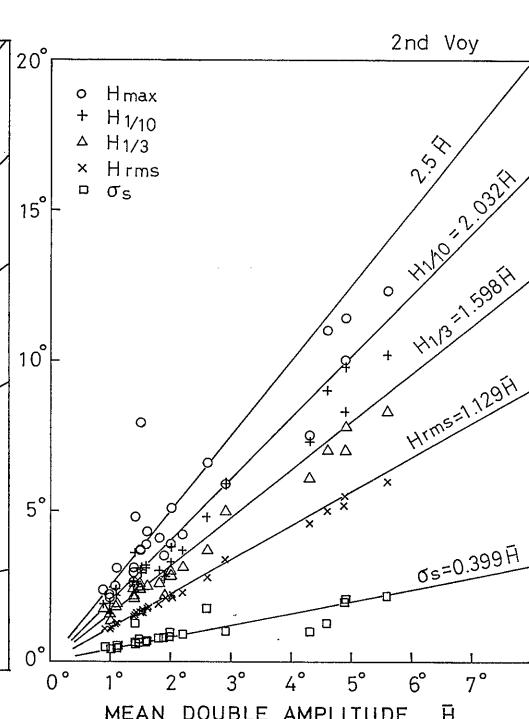


Fig. 7.7 d Double Amplitudes of Pitch (2nd Voy.)

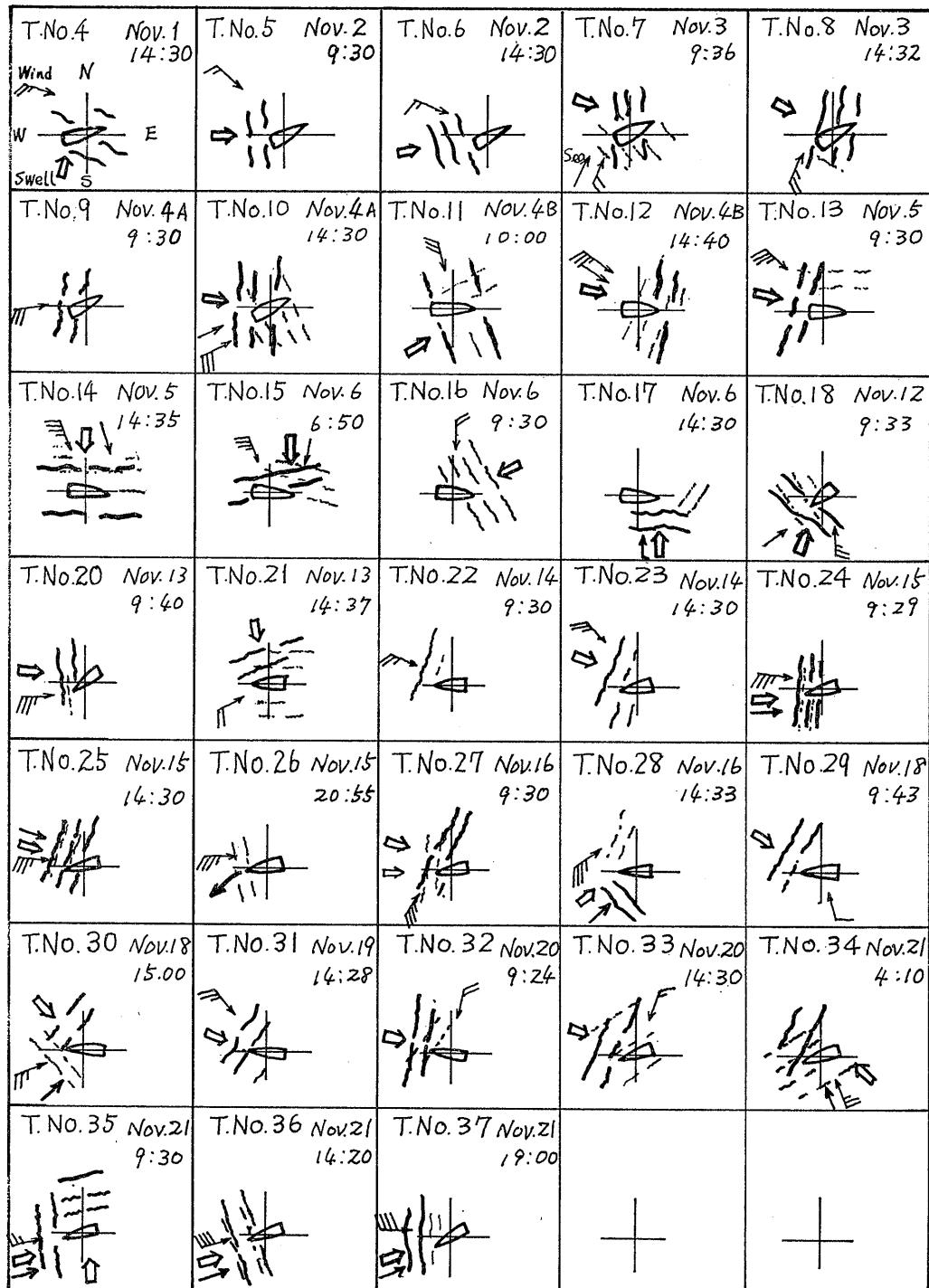


Fig. 7.8 a Sea State Sketchs (1st Voy.)

T.No.101 Nov.26 12:05	T.No.103 Nov.27 9:00	T.No.104 Nov.27 14:45	T.No.105 Nov.28A 8:50	T.No.106 Nov.28A 15:15
T.No.107 Nov.28B 8:30	T.No.108 Nov.28B 14:45	T.No.109 Nov.29 8:45	T.No.110 Nov.29 14:40	T.No.111 Nov.30 8:45
T.No.112 Nov.30 14:30	T.No.113 Dec. 1 8:30	T.No.114 Dec. 1 14:54	T.No.115 Dec. 2 8:54	T.No.116 Dec. 2 14:38
T.No.117 Dec. 3 8:35	T.No.118 Dec. 3 14:30	T.No.119 Dec. 12	T.No.120 Dec. 12 14:35	T.No.121 Dec. 13 8:30
T.No.122 Dec.13 14:35	T.No.123 Dec.14 8:00	T.No.124 Dec.14 14:35	T.No.125 Dec.15 8:30	T.No.126 Dec.15 14:30
T.No.127 Dec.17 8:35	T.No.128 Dec.17 14:30	T.No.129 Dec.18 8:40	T.No.130 Dec.18 14:37	T.No.131 Dec. 19
T.No.132 Dec.19 14:40	T.No.133 Dec.20 8:30	T.No.134 Dec.20 14:40		

Fig. 7.8 b Sea State Sketchs (2nd Voy.)

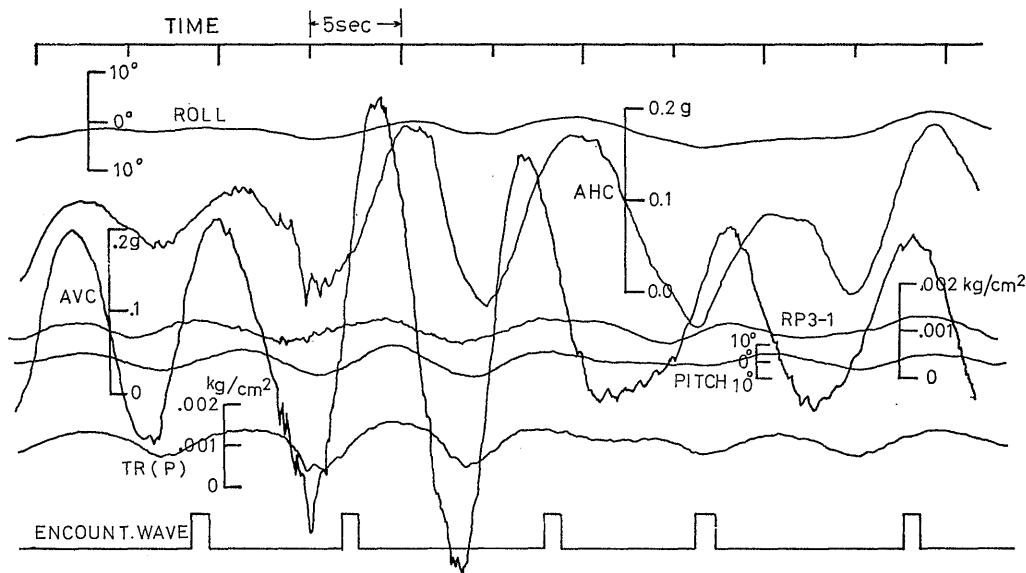


Fig. 7.9 Example Records at Heavy Pitching (T. No. 37)

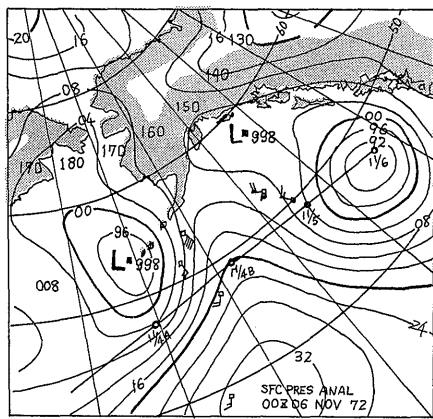


Fig. 7.10 a Weather Chart (T. No. 15)

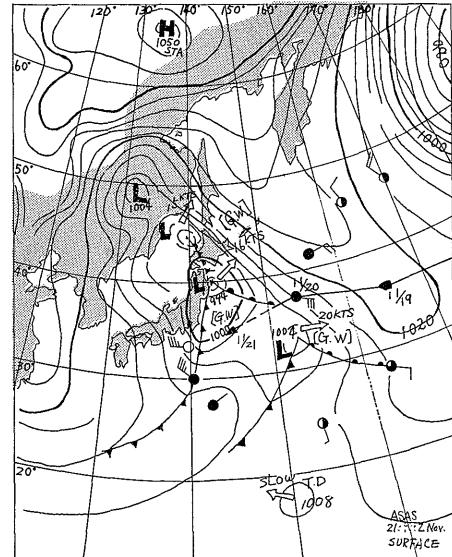


Fig. 7.10 b Weather Chart (T. No. 35-37)

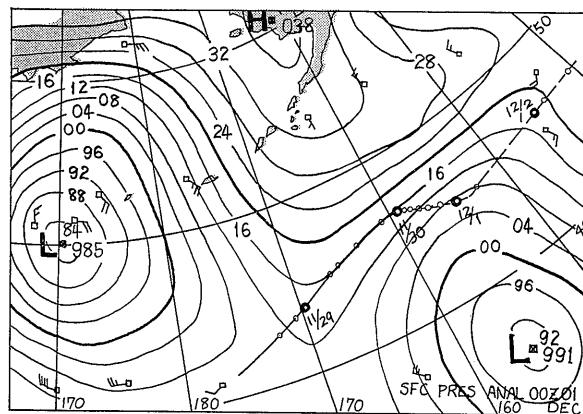


Fig. 7.10 c Weather Chart (T. No. 112—113)

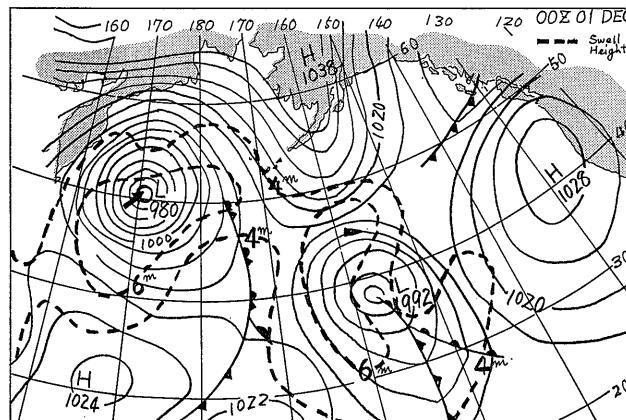


Fig. 7.10 d Wave Forcasting Chart (T. No. 114)

►; Estimated Ship Position

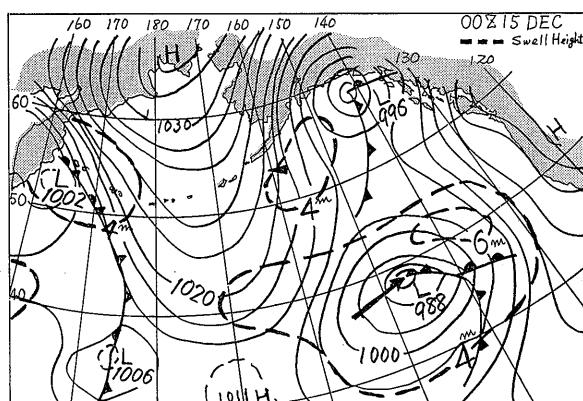


Fig. 7.10 e Wave Forcasting Chart (T. No. 125)

◀; Estimated Ship Position

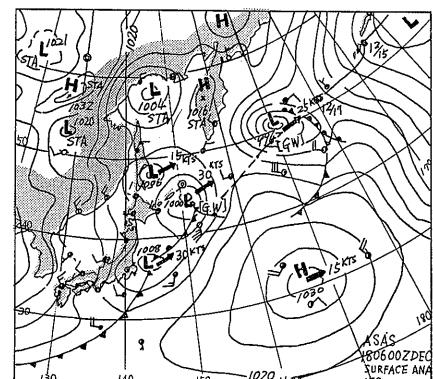


Fig. 7.10 f Weather Chart (T. No. 130)

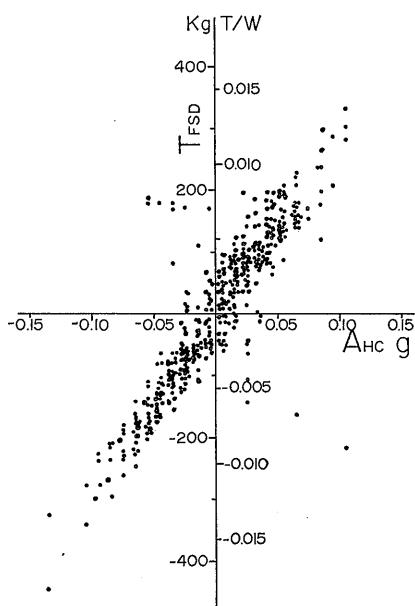


Fig. 8.1 a Diagonal Lashing vs. Lateral Acceleration (1st Home)

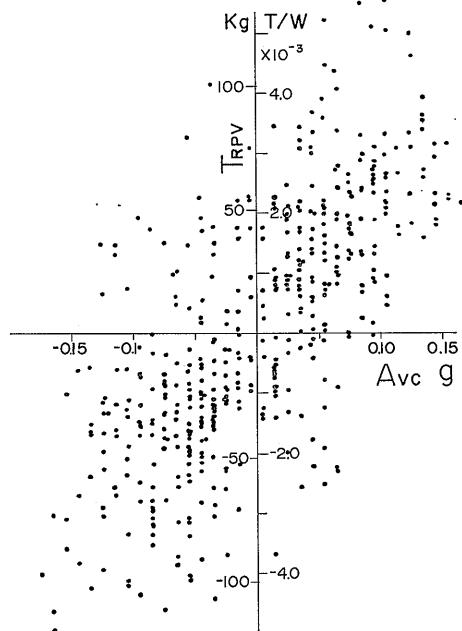


Fig. 8.1 b Vertical Lashing vs. Vertical Acceleration (1st Home)

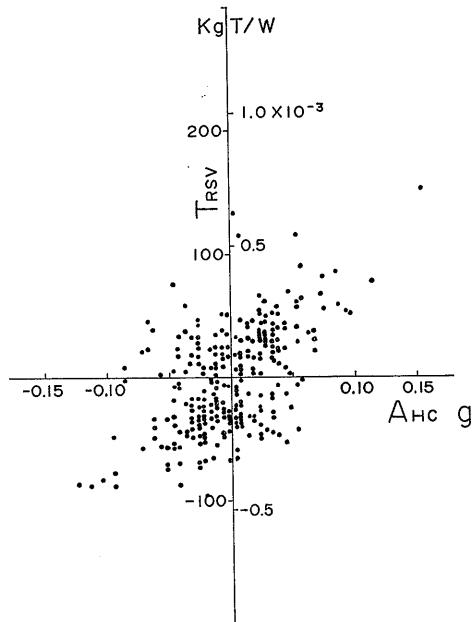


Fig. 8.1 c Vertical Lashing vs. Lateral Acceleration (2nd Home)

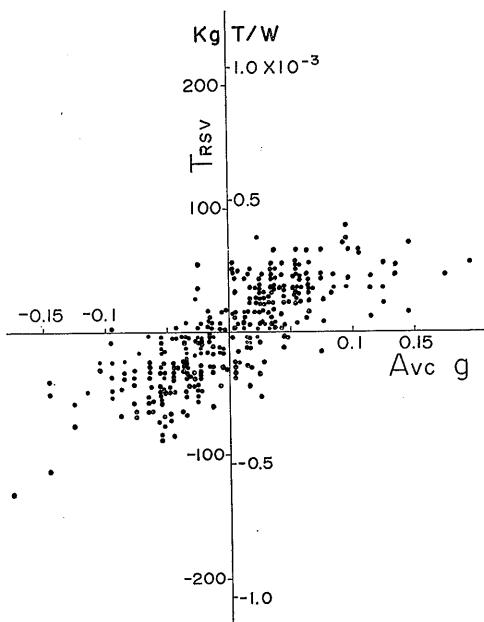


Fig. 8.1 d Vertical Lashing vs. Vertical Acceleration (2nd Home)

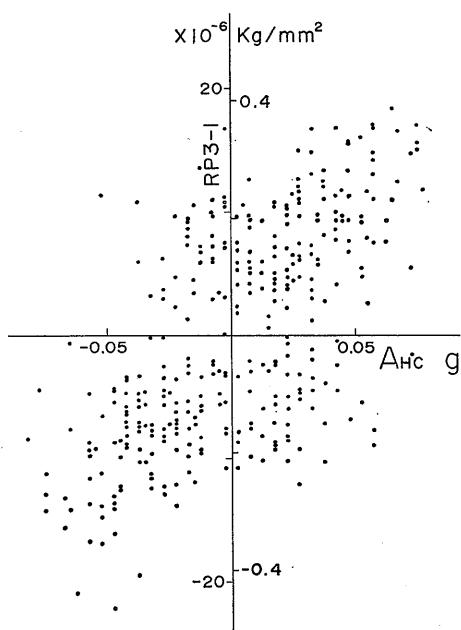


Fig. 8.1e Container Stress vs. Lateral Acceleration (1st Home)

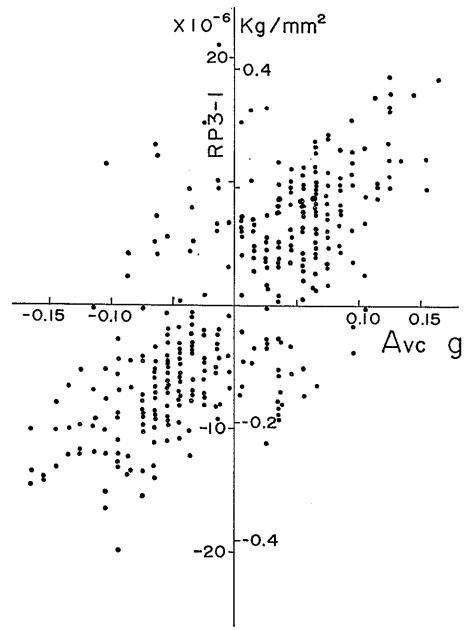


Fig. 8.1f Container Stress vs. Vertical Acceleration (1st Home)

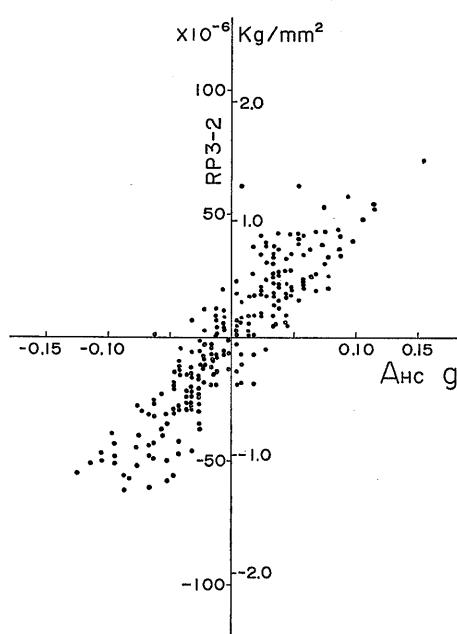


Fig. 8.1g Container Stress vs. Lateral Acceleration (2nd Home)

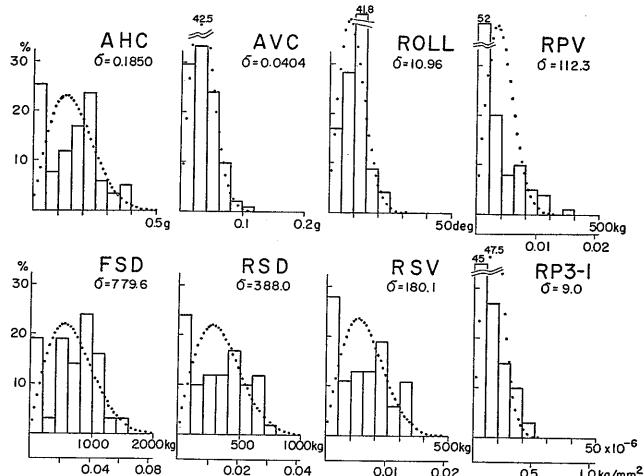


Fig. 8.2 a Histograms (T. No. 9)

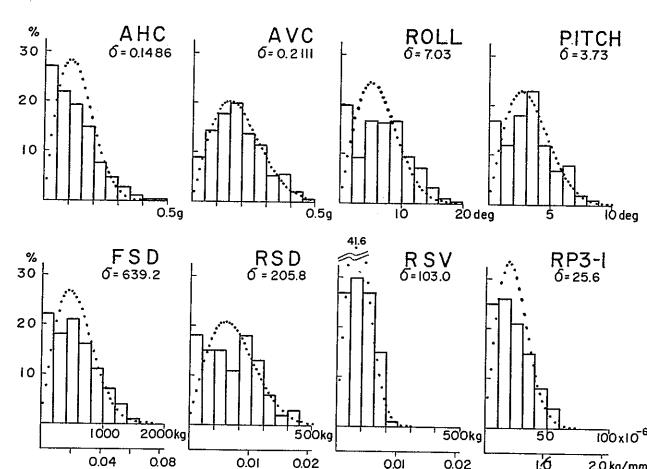


Fig. 8.2 b Histograms (T. No. 15-1)

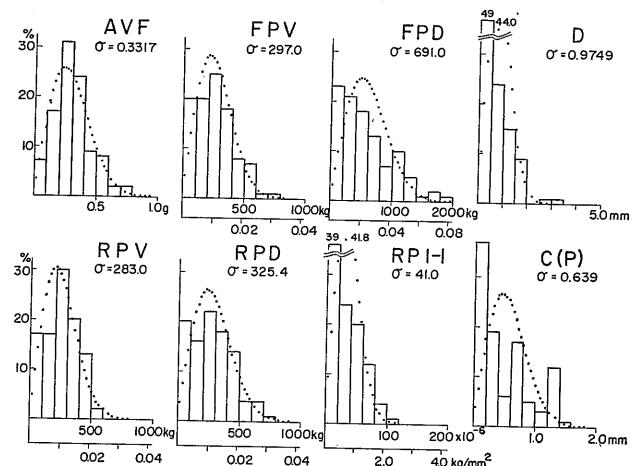


Fig. 8.2 c Histograms (T. No. 15-2)

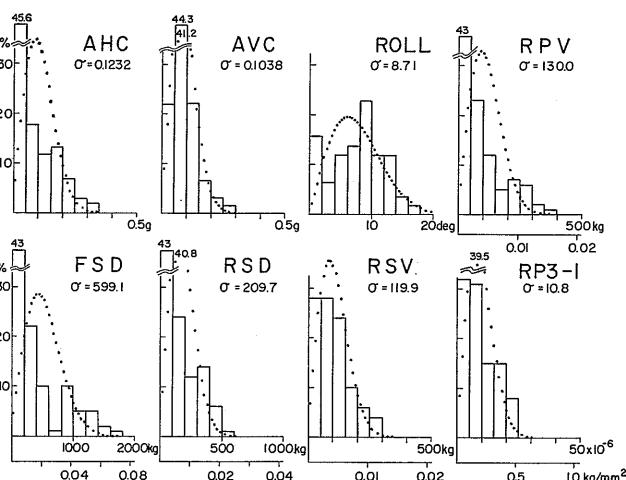


Fig. 8.2 d Histograms (T. No. 17)

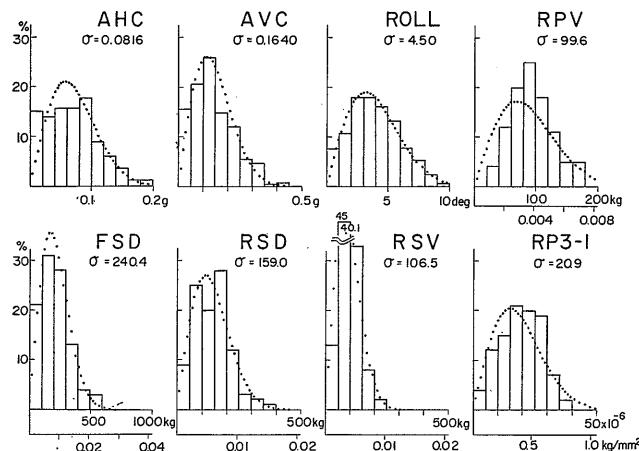


Fig. 8.2 e Histograms (T. No. 21)

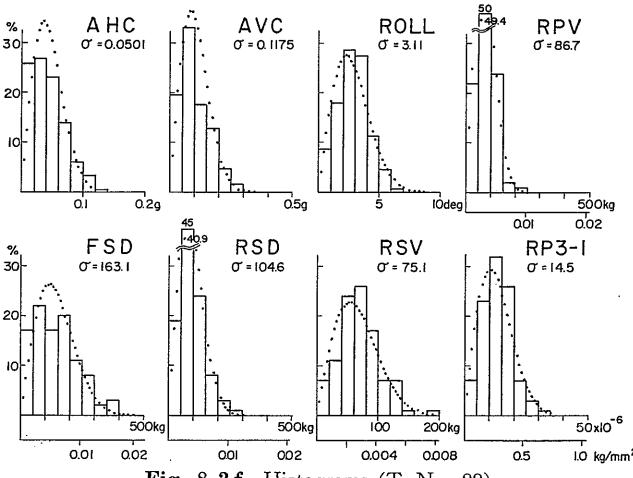


Fig. 8.2 f Histograms (T. No. 22)

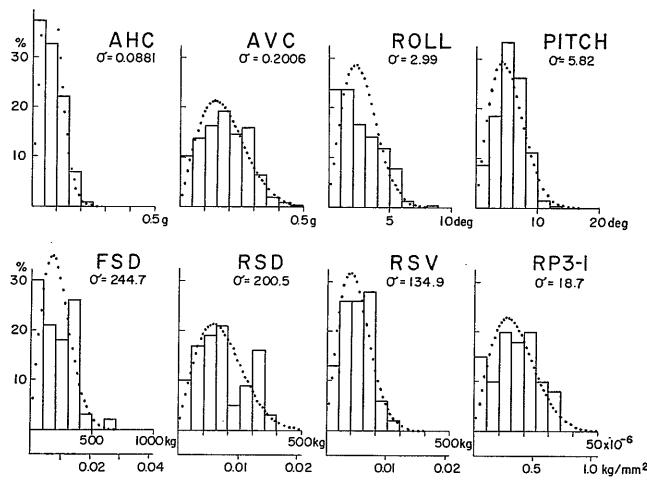


Fig. 8.2 g Histograms (T. No. 26-1)

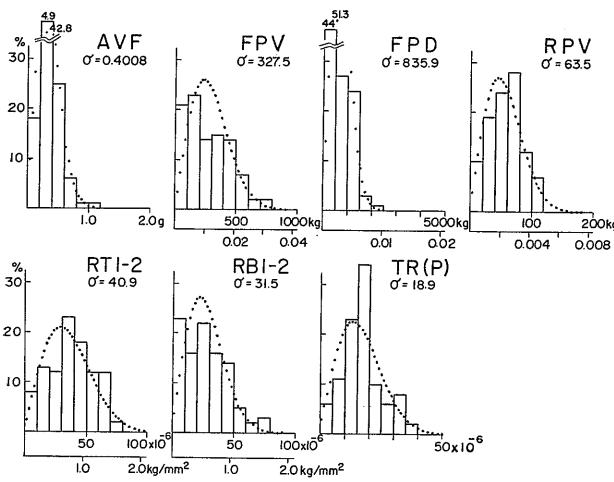


Fig. 8.2 h Histograms (T. No. 26-2)

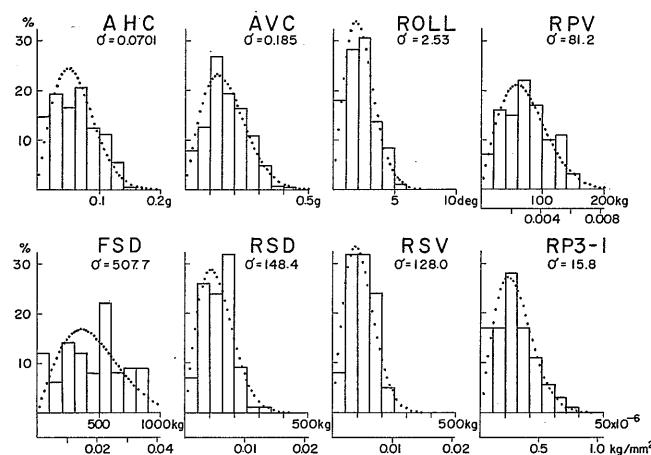


Fig. 8.2i Histograms (T. No. 27)

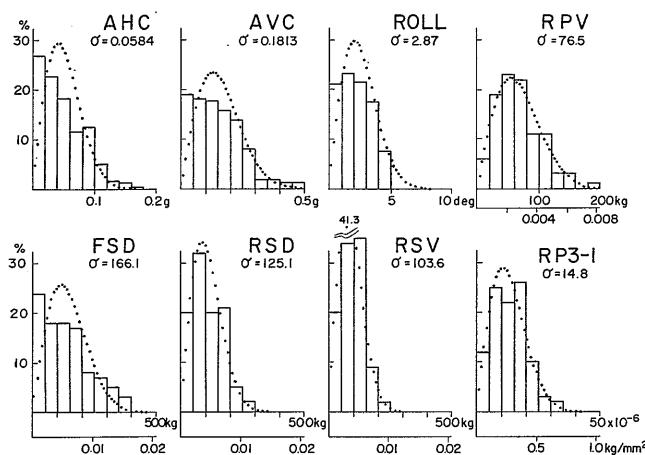


Fig. 8.2j Histograms (T. No. 28)

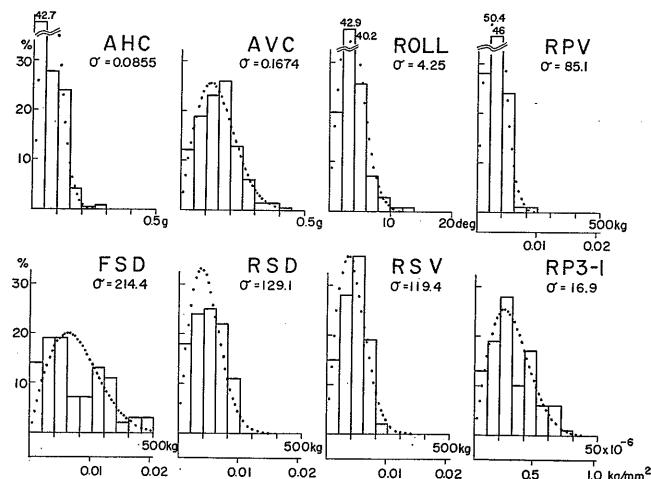


Fig. 8.2k Histograms (T. No. 29)

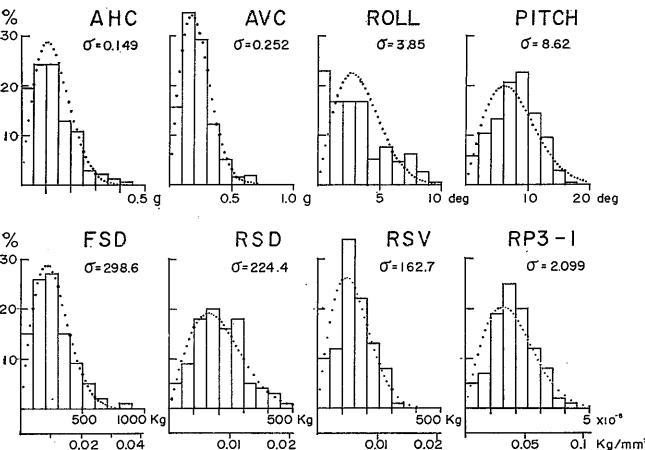


Fig. 8.2l Histograms (T. No. 37)

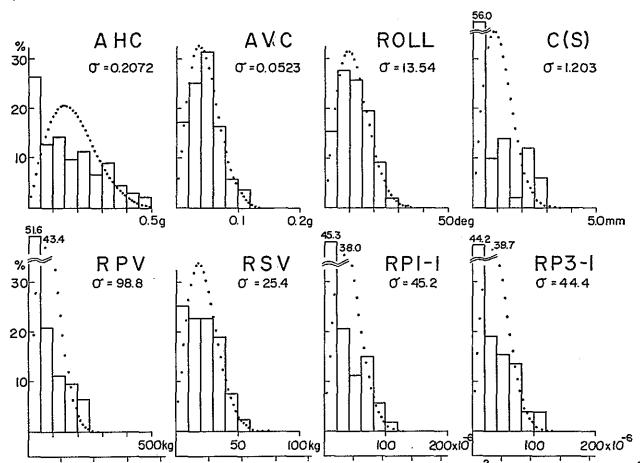


Fig. 8.2 m Histograms (T. No. 104)

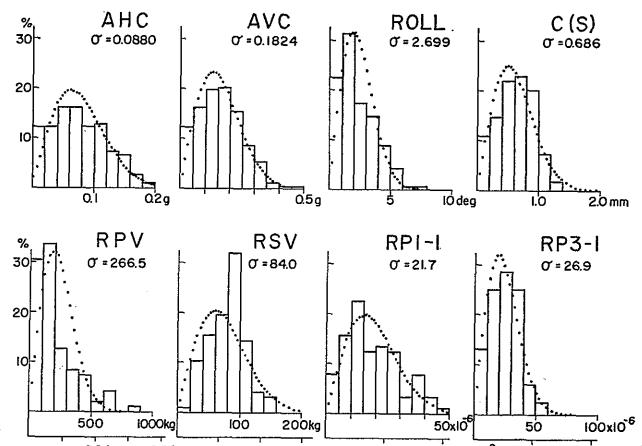


Fig. 8.2 n Histograms (T. No. 114)

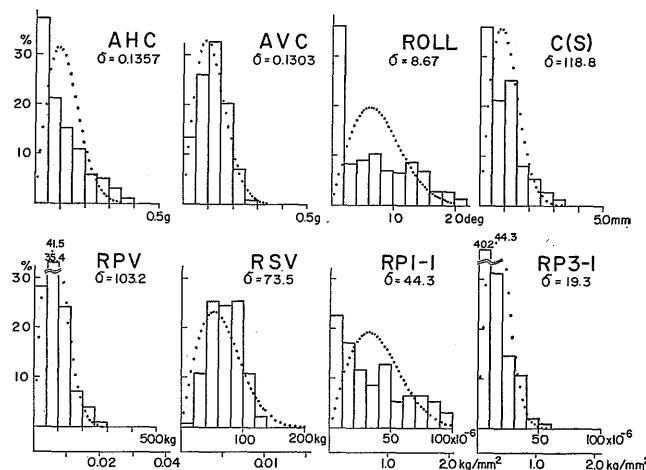


Fig. 8.2 o Histograms (T. No. 118)

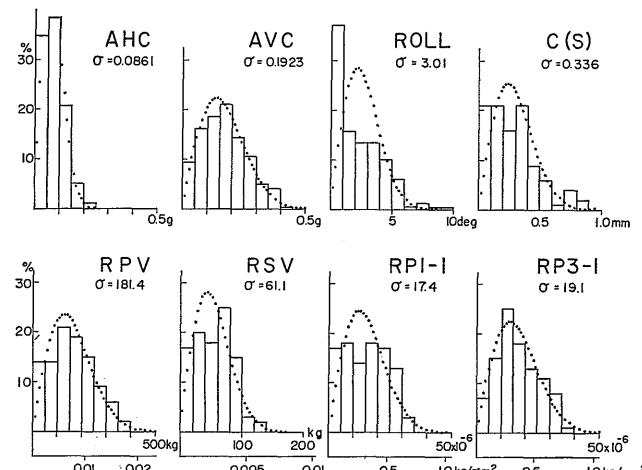


Fig. 8.2 p Histograms (T. No. 123)

(330)

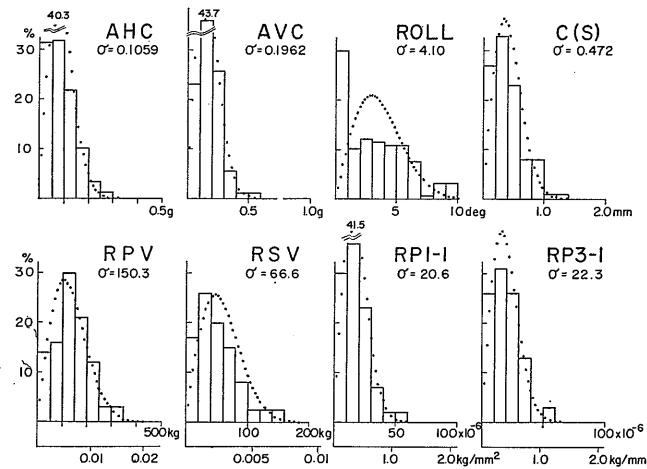


Fig. 8.2 q Histograms (T. No. 124)

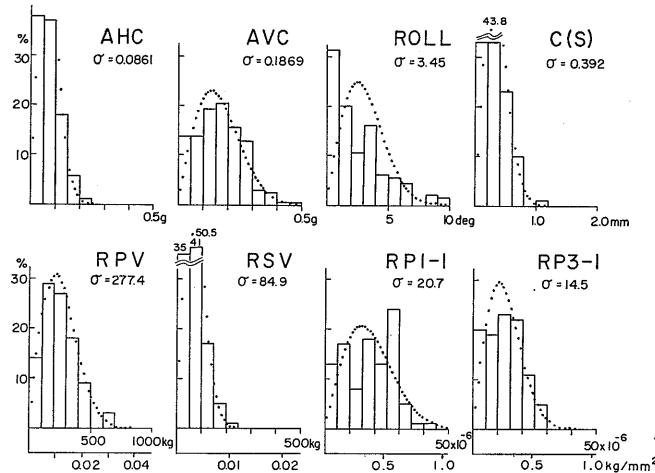


Fig. 8.2 r Histograms (T. No. 130)

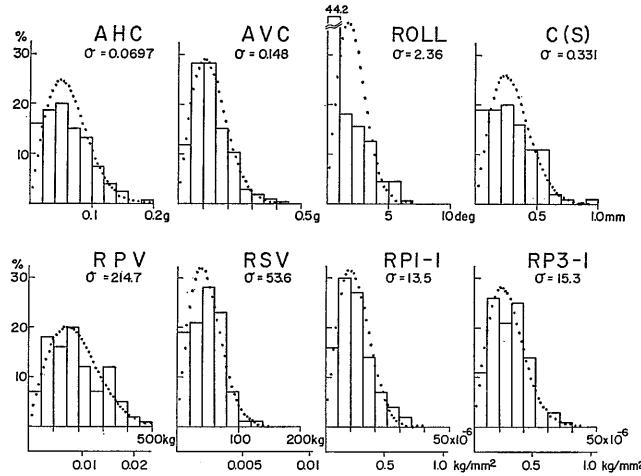


Fig. 8.2 s Histograms (T. No. 132)

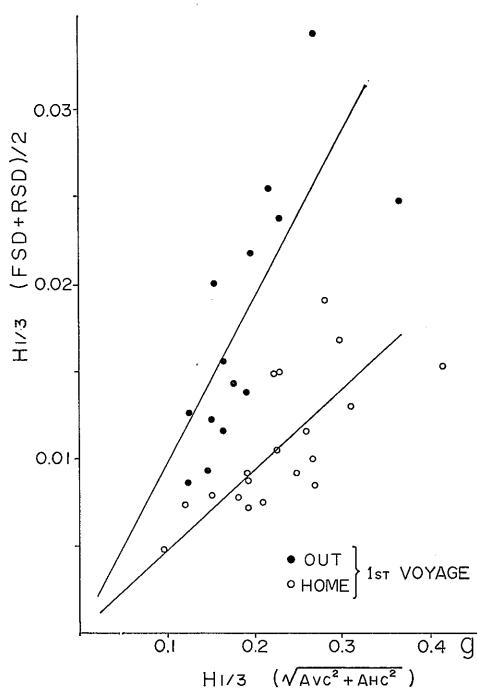


Fig. 8.3 a Significant Tension of Diagonal Lashings (1st Voy.)

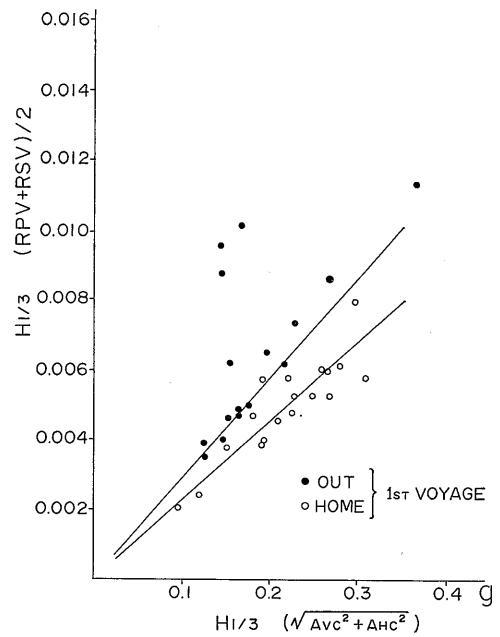


Fig. 8.3 b Significant Tension of Vertical Lashings (1st Voy.)

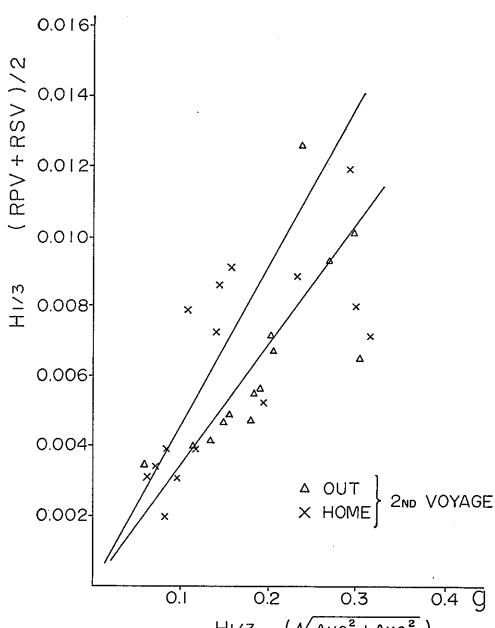


Fig. 8.3 c Significant Tension of Vertical Lashings (2nd Voy.)

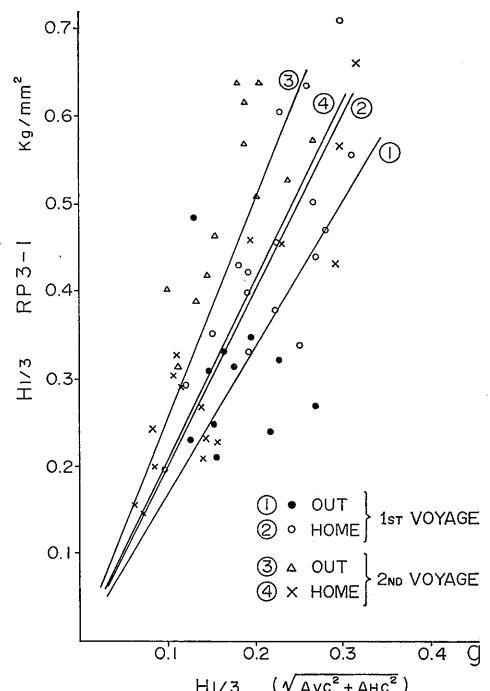


Fig. 8.3 d Significant Stress of Container (RP 3-1)

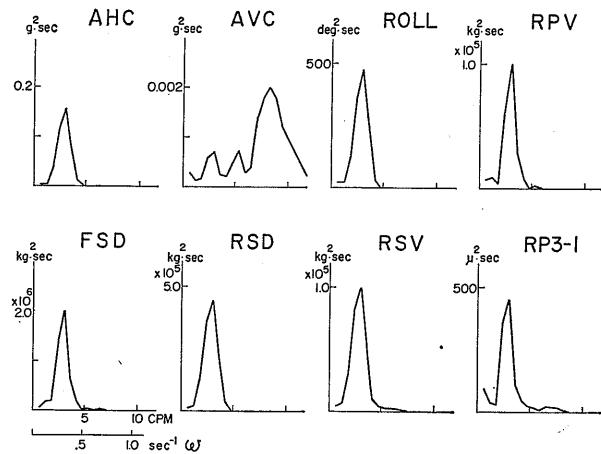


Fig. 8.4 a Spectra (T. No. 9)

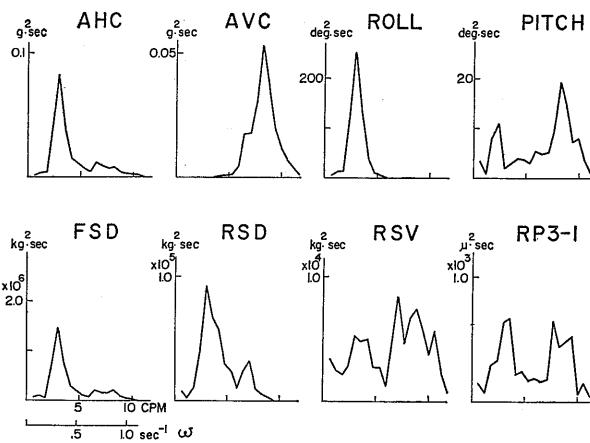


Fig. 8.4 b Spectra (T. No. 15-1)

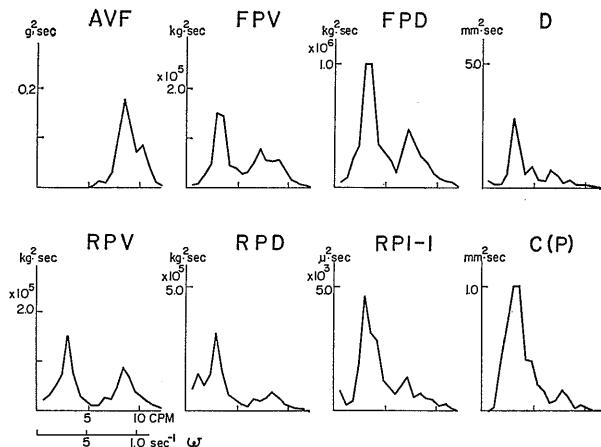


Fig. 8.4 c Spectra (T. No. 15-2)

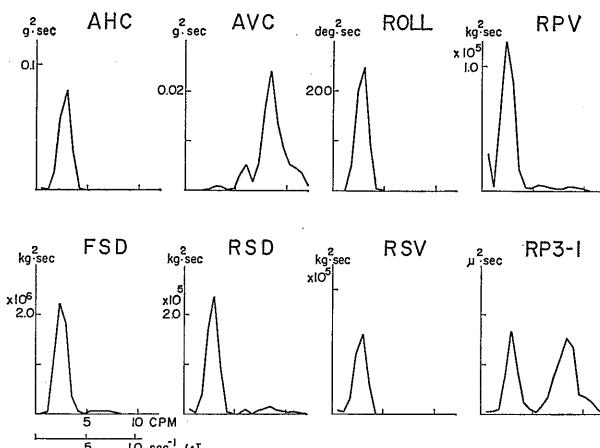


Fig. 8.4 d Spectra (T. No. 17)

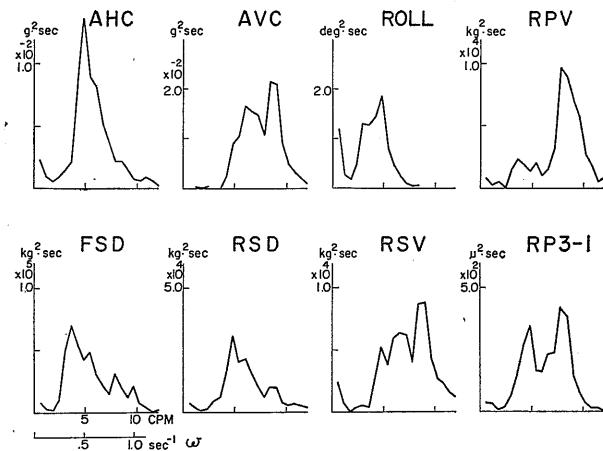


Fig. 8.4 e Spectra (T. No. 21)

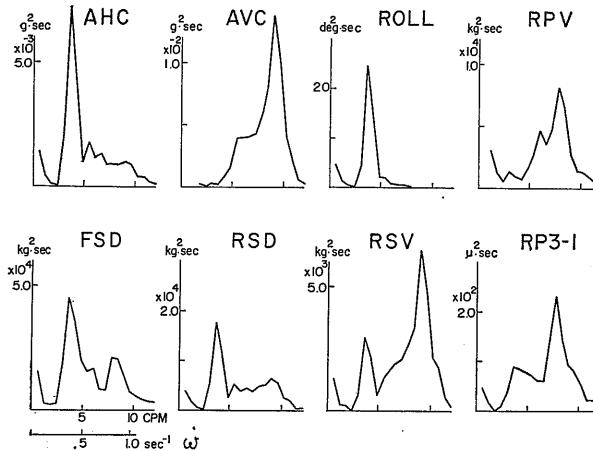


Fig. 8.4 f Spectra (T. No. 22)

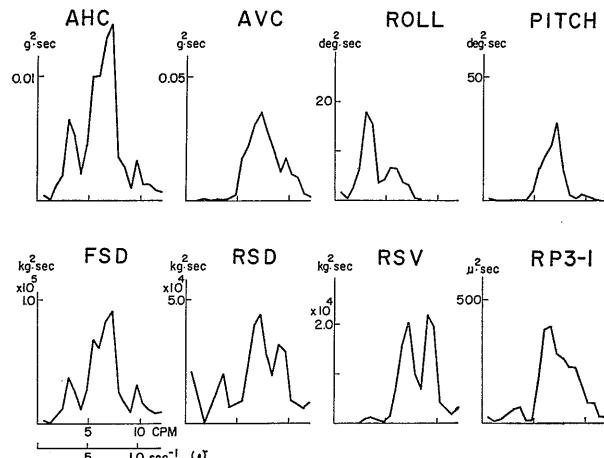


Fig. 8.4 g Spectra (T. No. 26-1)

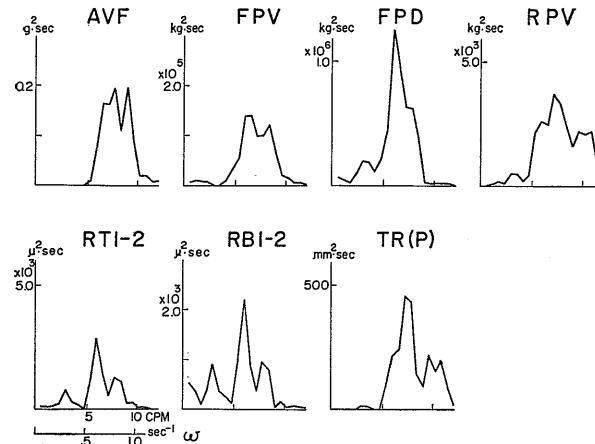


Fig. 8.4 h Spectra (T. No. 26-2)

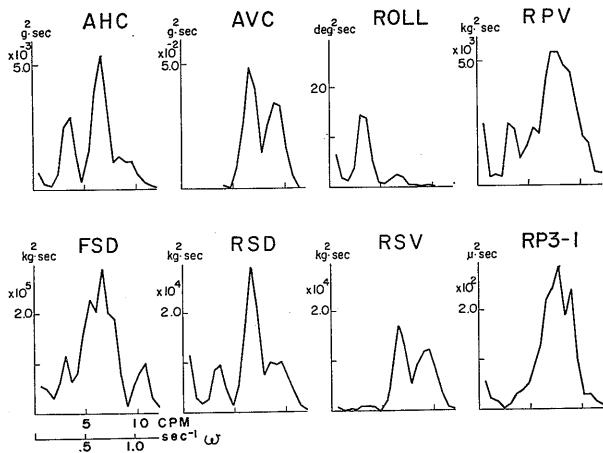


Fig. 8.4i Spectra (T. No. 27)

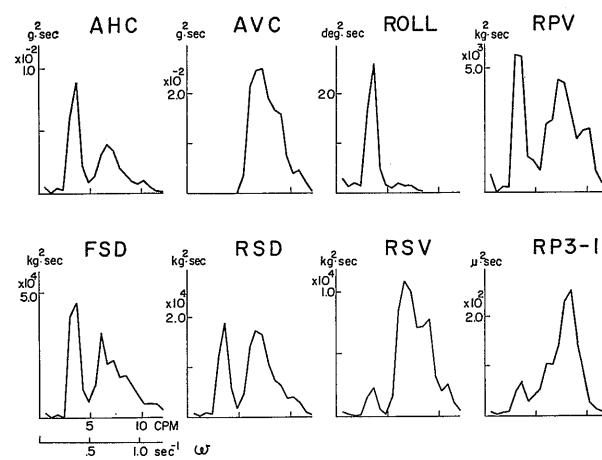


Fig. 8.4j Spectra (T. No. 28)

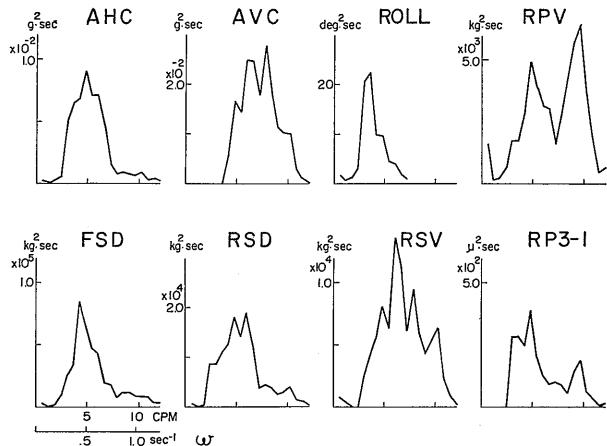


Fig. 8.4k Spectra (T. No. 29)

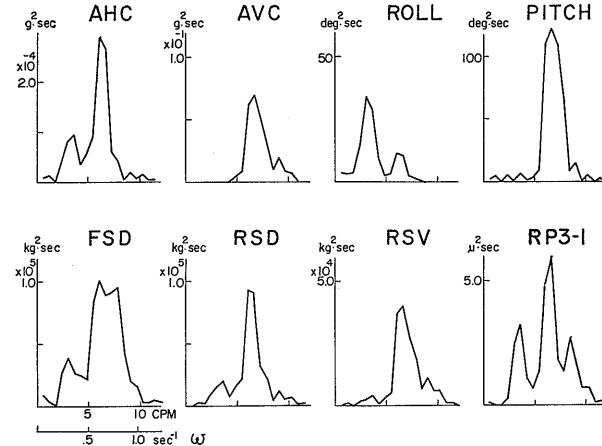


Fig. 8.4l Spectra (T. No. 37)

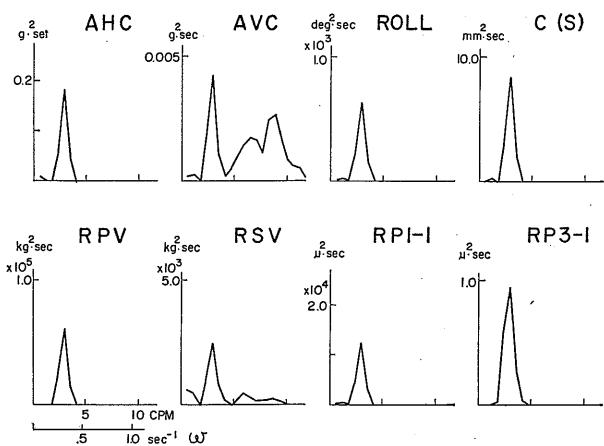


Fig. 8.4 m Spectra (T. No. 104)

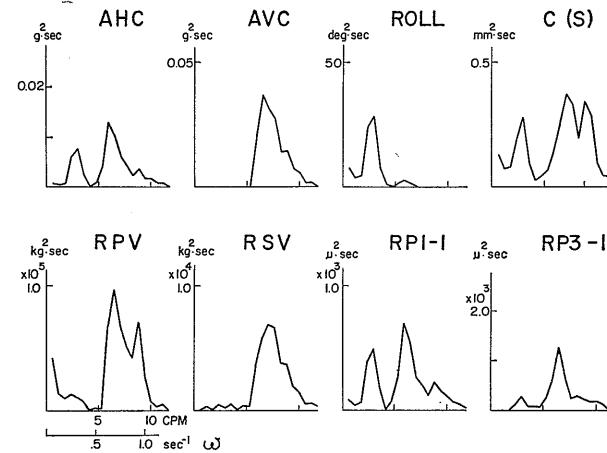


Fig. 8.4 n Spectra (T. No. 114)

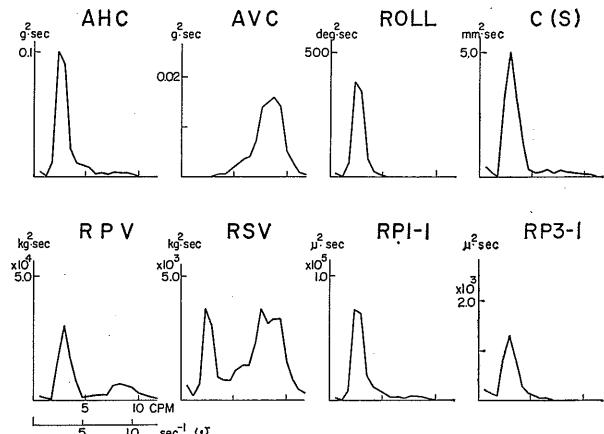


Fig. 8.4 o Spectra (T. No. 118)

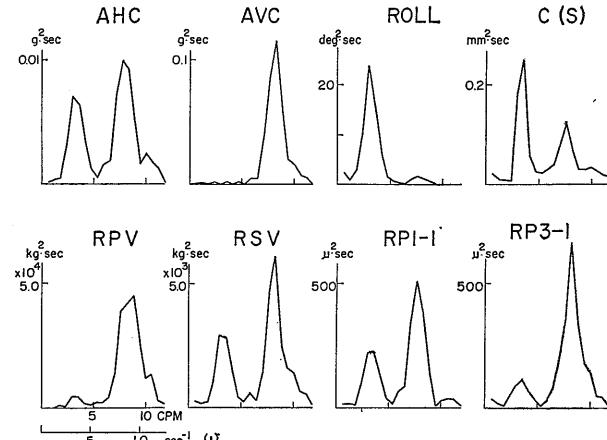


Fig. 8.4 p Spectra (T. No. 123)

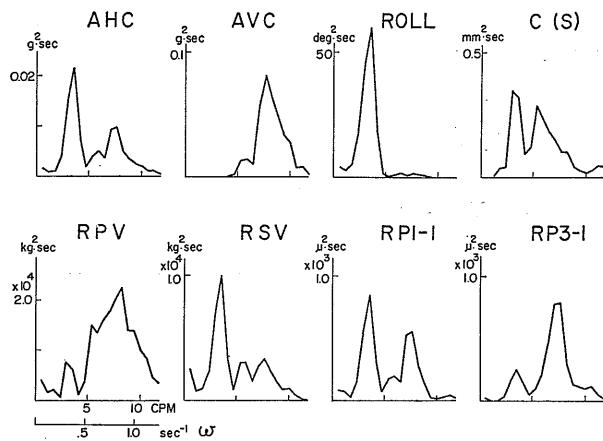


Fig. 8.4 q Spectra (T. No. 124)

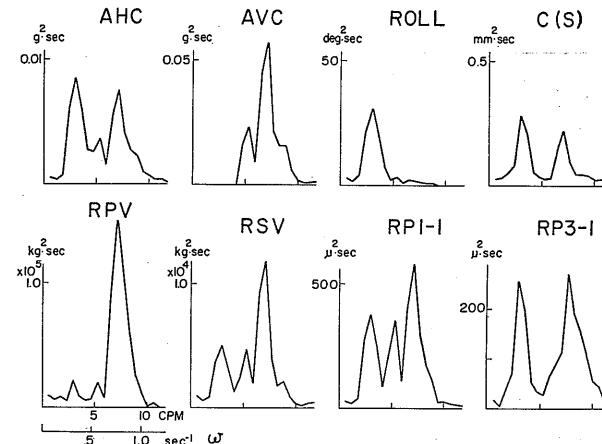


Fig. 8.4 r Spectra (T. No. 130)

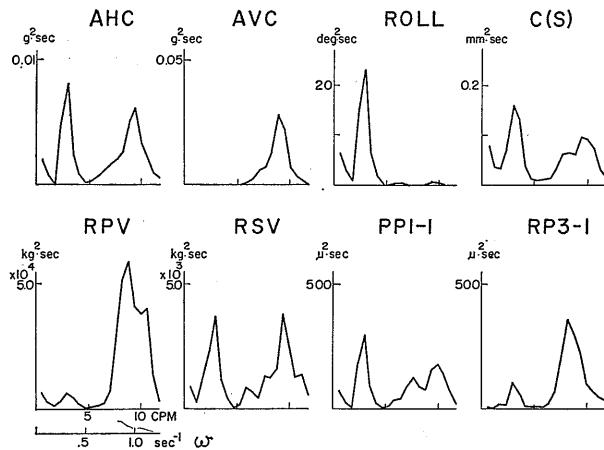


Fig. 8.4 s Spectra (T. No. 132)

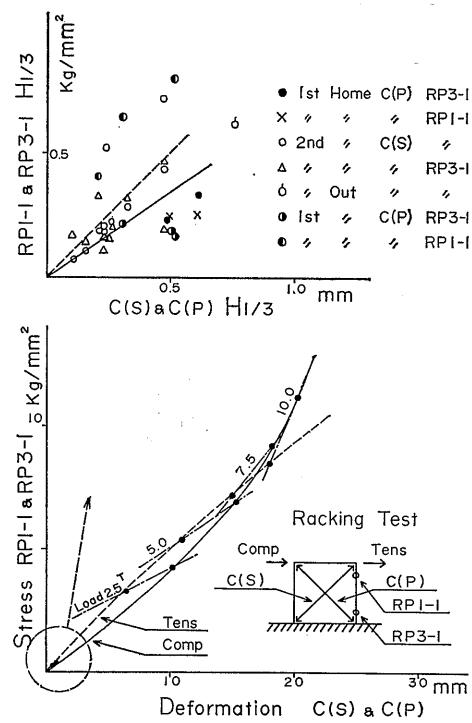


Fig. 8.5 Stress vs. Deformation of Container