

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試験について

(第一報)

高石 敬史* 安藤 定雄* 門井 弘行**

Test on Service Performance of M.S.Yamataka-Maru at North Pacific Route

By

Yoshifumi Takaishi, Sadao Ando, Hiroyuki Kadoi

Abstract

A series of full sized observational experiments on seaworthiness of ships has been performed by the once every year starting from 1961, in order to collect data about ship motion, propulsive performance and stresses of the structures on the ships under service. M.S.YAMATAKAMARU is the third tested ship and the experiments were carried out on her 18th voyage between Yokohama and New York from Dec. 28th, 1963 to Jan. 30th, 1964.

The items measured were ;

a) Propulsive performance

speed of ship, revolution of propeller, torque of shaft.

b) Ship motion and steering performance

pitching and rolling angle, yawing angle, vertical accelerations, wave elevation at midship, helm angle, steering frequency.

c) Stress on structural member

longitudinal stress frequency on upper deck, transverse stress on webb frame at midship, maximum water pressure on upper deck by the green sea.

d) Wind and sea state, ship conditions

relative wind direction and wind velocity, relative wave length, height, period, direction and sea scale.

These items were recorded simultaneously on two visi-graph recorder and some of them were also recorded on punched tape of digitizer in order to make the statistical analysis easy. The recording and observations were carried once or three times in a day and thirty-five records were collected during the voyage. In this paper, statistical description about sea state in North Pacific Ocean, speed losses in rough sea, spectral analysis of the ship motions, steering qualities in smooth and rough sea, longitudinal and transverse stress of structure and so on, were described.

* 運動性能部 ** 推進性能部

目 次

緒 言	
1. 実船試験の概要	3
1・1 供試船の概要	3
1・2 計測項目および計測方法	3
1・3 試験の種類および方法	9
1・4 試験の経過	10
2. 試験結果の要約	14
2・1 海象と気象	14
2・2 推進性能	16
2・3 操縦性能	20
2・4 構造強度	23
2・5 不規則振動の統計的解析	30
3. 考 察	57
4. 結 言	59
5. 附 録	59
A. 水位計	59
B. 操舵頻度計	60
C. デジタイザー	61
D. 海象の個人観測値	63
E. 荒天時の天気図	64
記号表	67
参考文献	67

緒言

船舶技術研究所は昭和36年以来10ヶ年計画のもとに、船舶の航海性能に関する実船実験を船舶部門の手によつて実施中である。

第1回は飯野海運所属の大島丸、第2回は大同海運所属のまんはったん丸の、ともにニューヨーク定期航路の高速貨物船について行なわれ、海象状態の最も不良な時期として冬期を選び、北太平洋に於ける航海性能の向上を計るための資料を得ようとする努力が続けられている。最良の航海性能を持つ船舶とは経済性、安全性、高速性に優れた船舶であると考えられるが、これを判断するためには船型、構造、航法等のあらゆる見地から総合的な検討を加える必要がある。実船実験や模型試験によつて得られた推進性能、運動性能、構造強度等の試験結果をこれらの要因に結びつける手段としてシーマージン、動揺のパワースペクトラム、応力頻度などの形に解析、整理することは、しばしば用いられる方法であるが、これらにより船型、構造、航法などの各諸点を検討すれば航海性能の向上を計る資料を得ることが期待出来るであろう。

昭和38年度はその第3回目として前2年度と同じくニューヨーク定期航路の山下新日本汽船所属の山隆丸を対象とし、引続き同様な資料をさらに集積して行くことを主目的とした。今回は船体運動および構造強度の面で前2回にくらべいくつもの新しい試みをつけ加えたのが特徴である。

即ち、Table 1・2の各年度の計測内容の比較に見られる様に、今回の特徴として次記の諸点が挙げられる。

- 1) 操縦性能試験としてZ操舵試験、オートパイロットの応答試験、操舵頻度の計測などを加えた。これによつて旋回性、進路安定性や風波による当舵などを知らることが出来る。
- 2) 水位計の採用により、海面状態を定量的に知る手掛りとした。又これにより舷側水位とその場所の横応力との関連性を調べることが出来る。
- 3) 横応力を計測した。前回までは縦強度だけを計測しているが、横応力に関する資料が乏しいので、水位計と同じ位置のwebb Frameにて計測を行った。
- 4) デジタイザーの併用。

今回の大きな特徴として計測された各々の不規則に変動するデーターを速かに解析することを容易にするためにデジタイザーを初めて搭載し、時々刻々の変動

するデーターを一定時間間隔に穿孔テープに記録する方法を併用した。この穿孔テープは帰航後直ちに電子計算機にて種々な計算を行うのに用いた。これは従来より内外で行われている実船試験においてつねづね望まれていた¹⁾ところであつて少くとも我国においては始めての試みである。

1. 実船試験の概要

1・1 供試船の概要

山隆丸は第14次計画造船により昭和34年(1959年)8月日立造船桜島工場において竣工した山下新日本汽船株式会社所属の遠洋1級の高速貨物船(D.W. 12,701 TONS)である。

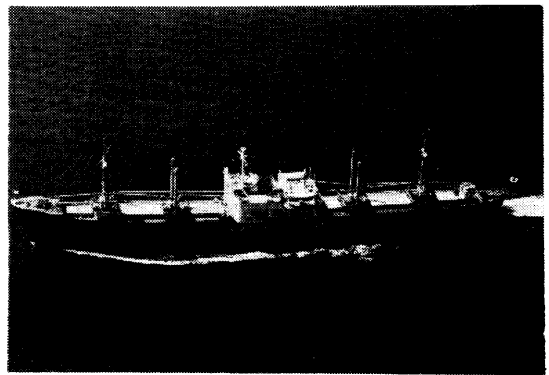


Photo 1・1 M.S. YAMATAKA-MARU

その主要目をTable 1・1に、船の全景写真をPhoto 1・1に示す。この船は船首接付甲板型で1軸1舵を具えている。

1・2 計測項目および計測方法

観測および計測項目はTable 1・2に、測定位置はFig 1・1に示す。これにも見られる如く今回は船体運動関係に重点を置いた。以下に計測項目および計測方法などについて述べるが、今回の項目中に前2回の場合とまったく同様な方法で計測しているものがあるので、それらの詳細については第1回の実験報告¹⁾(船舶技術研究所報告第1巻第3・4号)によることとし、ここでは極く簡単にまとめることにした。

1・2・1 海象および気象

i) 海象

海象は前2回と同様に総て目視観測で行つた。計測員3名が、おのおの独立に、各計測直後ナビゲーションブリッジデッキにおいて、波浪階級、波長、波高、波が船に出合う角度、波の周期を観測した。周期はス

Table 1.1

PRINCIPAL PARTICULARS OF "YAMATAKA-MARU"

KIND		DIESEL VESSEL	
PURPOSE OF EMPLOYMENT		CARGO SHIP	
OWNER		YAMASHITA SHINNIHON STEAMSHIP CO., LTD.	
NUMBER OF REGISTER		83198	
PLAYING LIMIT		OCEAN-GOING	
CLASS, TYPE		THE FIRST CLASS FLASH DECKER	
SHIP	LENGTH (O.A.)	156.25 METERS	
	LENGTH (P.P.)	145.00 METERS	
	BREADTH (MLD)	19.60 METERS	
	DEPTH (MLD)	12.40 METERS	
	DESIGNED LOAD DRAFT (MLD)	9.289 METERS	
	DESIGNED LOAD DISPLACEMENT	18,316.00 TONS	
	BLOCK COEFF.	0.674	
	PRISMATIC COEFF.	0.686	
	MIDSHIP COEFF.	0.982	
	WATERPLANE COEFF.	0.801	
		GROSS	9,307.79 TONS
	TONNAGE	NET	5,427.10 TONS
		D.W.	12,701.00 TONS
	SPEED	{ TRIAL	20.70 KNOTS
		{ SERVICE	18.00 KNOTS
	LONGITUDINAL CENTRE OF BUOYANCY		+0.60 %
	PROPELLER	TYPE	AIRFOIL 4 BLADES
DIAMETER		6.200 METERS	
PITCH RATIO (0.7R)		0.805 DEC.	
BOSS RATIO		0.242	
EXPANDED RATIO		0.486	
DIRECTION OF TURNING		RIGHT HANDED	
RUDDER	HEIGHT	6.200 METERS	
	CHORD LENGTH	3.200 METERS	
	CHORD THICKNESS	0.633 METERS	
	TYPE	STREAM LINE TYPE REACTION BALANCED RUDDER	
MAIN ENGINE	TYPE	HITACHI B & W 10704 VTBF 160×1 SET	
	MAXIMUM	12,500 BHP×115 RPM	
	SERVICE	10,625 BHP×109 RPM	

Table 1 • 2

	ITEMS	1961	1962	1963	
SEA STATE	WAVE LENGTH, HEIGHT, PERIOD.	○	○	○	
	WAVE SURFACE AT MIDSHHIP.			○	*
	WIND DIRECTION, VELOCITY.	○	○	○	
PROPULSIVE PERFORMANCE	SPEED.	○	○	○	
	NUMBER OF REVOLUTION.	○	○	○	
	SHAFT TORQUE.	○	○	○	
SHIP MOTION	ROLLING & PITCHING ANGLE.	○	○	○	
	YAWING ANGLE.			○	*
	RUDDER ANGLE	○		○	
	STEERING FREQUENCY			○	*
	VERTICAL ACCELERATION.		○	○	
STRUCTURE	LONGITUDINAL STRESS FREQUENCY	○	○	○	
	TRANSVERSE STRESS.			○	*
	MAX. PRESSURE OF SHIPPED WATER.	○	○	○	
	FREQUENCY OF THE PRESSURE.	○	○		
	LONGITUDINAL STRESS.	○	○		

TEST	FREQUENCY
STATIONARY MEASUREMENT	ONCE IN EVERY DAY.
TIMELY MEASUREMENT	TWO OR THREE TIMES IN A DAY WHEN SEA IS ROUGH.
ZIG-ZAG TEST	ONCE IN SMOOTH SEA.
SPEED-POWER TEST	ONCE IN SMOOTH SEA.

トップウォッチを用いて数回の平均値として求めた。また計測時にはナビゲーションブリッジデッキの一定場所において、船首にうねりと風浪が出会うときごとに押しボタンを用いて出会マークのパルスをビジグラフに同時記録させた。この方法は後に述べる様な手続により出会周期のヒストグラムやコレログラムを介して出会う波のスペクトラムの形を推定することが出来、現在の段階では波の解明法として一番よい方法であると思われる。

荒天時には海象と海水打込を8mmシネと35mmとで撮影した。その例を Photo 1・2, 1・3 に示す。

ii) 気象

天候は各計測時ごとに計測員が観測したが、低気圧の移動、波や風の予想、その他外的条件などを検討する資料として、船がファクシミルを用いて気象通報を受信して作成した天気図を利用した。

気圧は本船に装備されていた気圧計を読み取った。

iii) 風向風速

遠洋船ではコーシンペーン式風向風速計が装備されているものが多いが、本船にはこれは装備されていなかったため、計測直後毎回コンパスフラットに行き手持の翼車型風向風速計にて計測した。

iv) 舷側水位

従来から波を定量的に測定する方法が各国で種々試みられて来たが、現在なお完全な方法がない。今回も一つの試みとして船の上から舷側の海面状態を定量的に測定することとし附録Aに説明する様な水位計を使用して左舷側の水位を測定した。

測定場所は船体中央部よりやや後方の位置で、シエルターデッキより往路は1m、復路は0.5mほど下方に設置し、計測時だけ下げた様にした。外板よりの距離は最初は1mほど突出させたが、出航後数日で波にさらわれたので、以後は約0.1m離れただけであるが支障はなかった。しかし、水位計の測定範囲は0.8~4.0mであつたので、復航の TEST NO. 212 から 219の間は波高が高過ぎて測定し得なかつた。この水位計については附録Aにて詳細に述べてある。Photo 1・4に計器の発信・受信部を、Photo 1・6に表示部、増巾部、信号処理部を、Photo 1・5に船体に取付けた発信・受信部を示す。(DC-24V. 1.8A)

1・2・2 推進性能

i) 速度

速度は本船に装備されていた船底圧カログによる平均対水速度値をブリッジの操舵室内の計器により計測

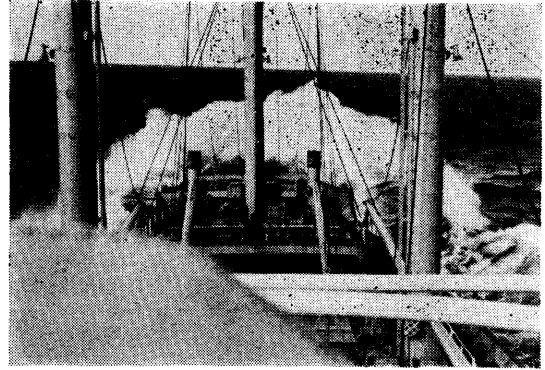


Photo 1・2 海水打込

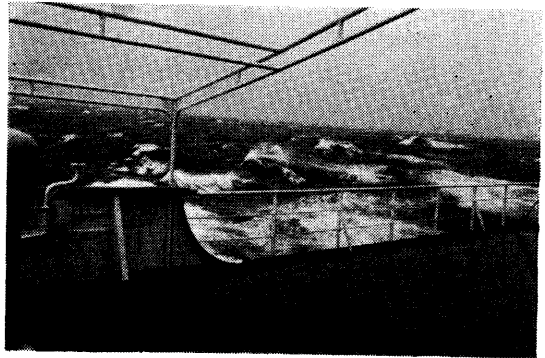


Photo 1・3 海象

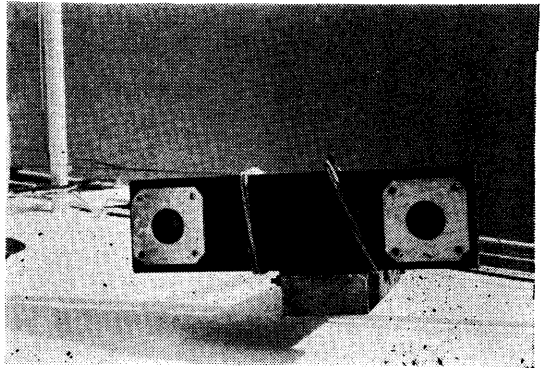


Photo 1・4 水位計の発信部と受信部

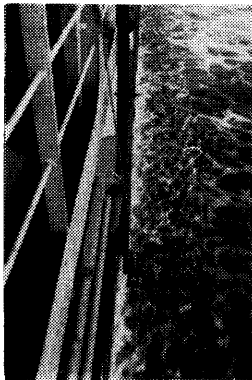


Photo 1・5
水位計の取付状態

中の変動値の平均として読みとつた。復航には静穏な海面状態の日に流木を用いて船底圧力ログの補正を行った。

ii) 回転数

回転数は前2回と同様に発電式とインダクション式との両方の回転計を併用した。

a) 発電式 軸室前端近くに設備されている本船装備の発電式回転計の出力の一つを利用した。

b) インダクション式 同じ場所附近に鉄片を推進器軸に取付け、永久磁石を軸外に固定して置くいわゆるインダクション式回転計によるパルスと同時に記録させた。後者は前者のキャリブレーション用として利用した。

iii) 推進器軸の馬力

馬力計は本船に固有のものとして軸室前端近くに装備されている日立造船式軸馬力計²⁾をそのまま使用した。この馬力計は差動変圧式であり、前2回のように箔歪計を直接軸に貼付して測定する方法よりも温度補正や零点修正などが不必要であるという点が有利である。Photo 1・7、1・8 は馬力計と軸室測定部の写真である。

1・2・3 船体運動

i) 横揺れおよび縦揺れ

前2回の場合と計測方法は变りなく計測室に設置した自動起立装置付直流フリージャイロ式動揺計を用いた。その装置の全景を Photo 1・9 の右側に示す。

(DC-28V, 5A)

ii) 船首揺れ

これも他の目的のために作成した一種のフリージャイロ式偏角計を計測室に設置して船首揺れを測定した。この装置は Photo 1・9 の左側に示す。(DC-28V, 3A)

iii) 舵角

操舵機室に設置したポテンシヨ式舵角計により舵軸に巻き付けたピアノ線でポテンシヨを動かし、その出力は計測室の記録器に同時記録させた。

iv) 操舵頻度

航海中を通じて船はどの程度の操舵をしているかを、操舵角頻度および操舵角持続時間率によつて調べるために運動性能部で新たに作製した操舵頻度計を使用³⁾して24時間毎の頻度を読みとつた。この装置は操舵機室に設置した。その詳細は附録Bに記述しておいた。Photo 1・12 はこの装置の全景である。

v) 上下加速度

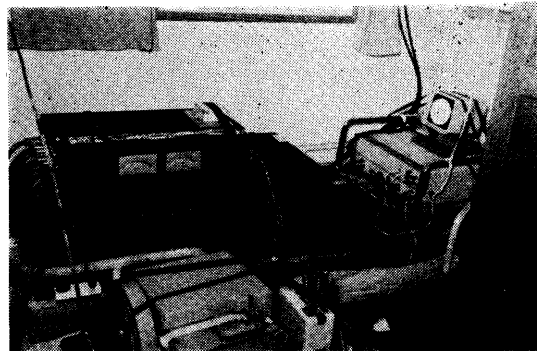


Photo 1・6 水位計本体

DM 6 H, 穿孔機計測室

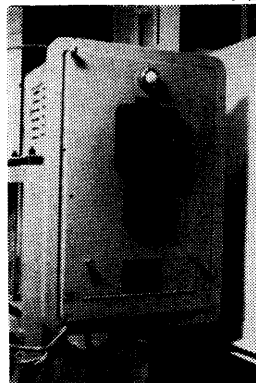


Photo 1・7 馬力計
の表示部と増幅部

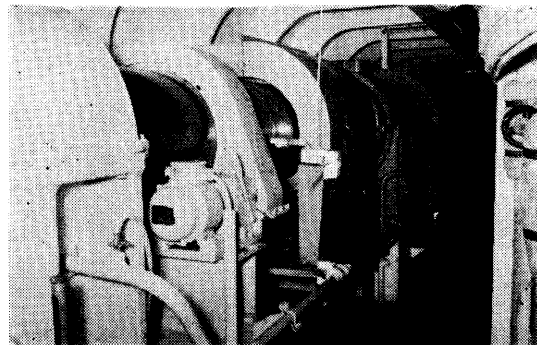


Photo 1・8 馬力, 回転計ピックアップ

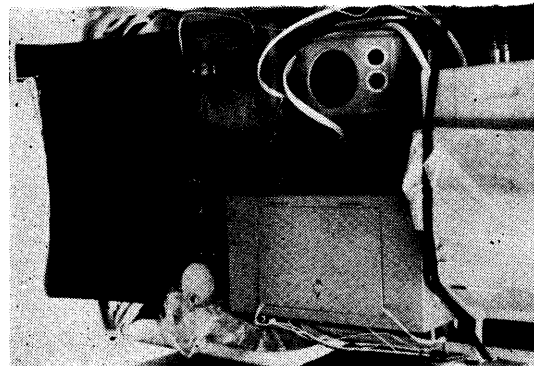


Photo 1・9 動揺計, 船首振り計

船の各部に於ける上下加速度を知るために、左右舷は船体中央部の CO₂ 室の左側と冷凍機室の右側、船体の前後については No 1 ウインチ室の中央と操舵機室、これらの他計測室にも 1 ケと計 5 ケ所において上下加速度を測定した。加速度計は、いわゆる非接着型のもので、加速度計の変位を DM 6 H 型抵抗線動的歪測定器に入れその出力を記録させた。DM 6 H は Photo 1・6 に示す。(AC-100V, 2A)

1・2・4 構造強度

i) 上甲板縦応力頻度および最高水圧

この縦応力頻度と最高水圧は前 2 回のものと同様な装置を使用した。縦応力は船体中央部の第 2 甲板の左舷にある CO₂ 室の天井に取付け、航海中の縦応力頻度を 24 時間毎に読みとつた。(AC-100V)

最高水圧は海水打込みが一番激しいと思われる第 1 ウインチ室の右舷側の甲板に取付けた。

ii) 横応力

機関室の左舷壁で水位計を取付けたとほぼ同じ位置の Webb Frame に箔歪計を貼付し、DM 6 H により歪みを計測し、その出力を記録させた。箔歪計の貼付場所の写真を Photo 1・13 に示す。

1・2・5 計測室、記録、その他

i) 計測室

ポートデツキの後部左舷側にある病室の一部を使用し、ここを計測室とした。

計測室には記録器としてビジコーダー 2 台とデジタルタイザーや動揺計、方位計、水位計本体、DM 6 H、バッテリー、充電器などを設置した。Photo 1・14 は計測室内の全景である。

ii) 記録

記録はビジコーダーを 2 台使用した。また同時にデジタルタイザーを併用した。

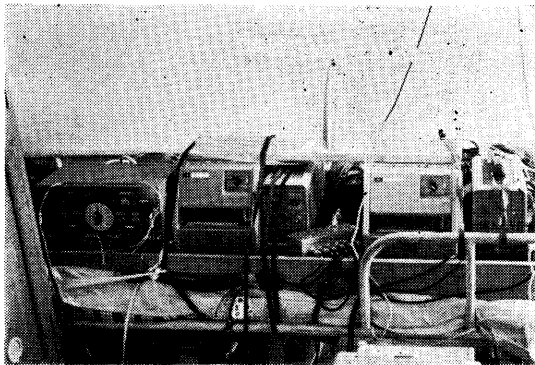


Photo 1・10 記録部ビジコーダー

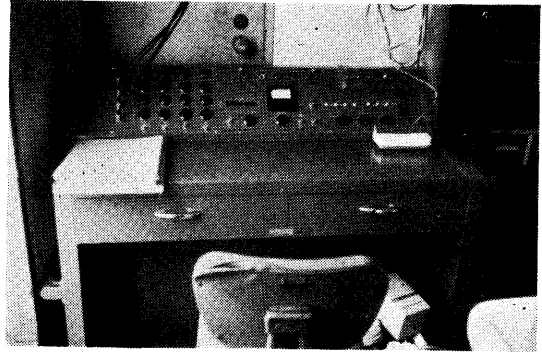


Photo 1・11 デジタイザー本体

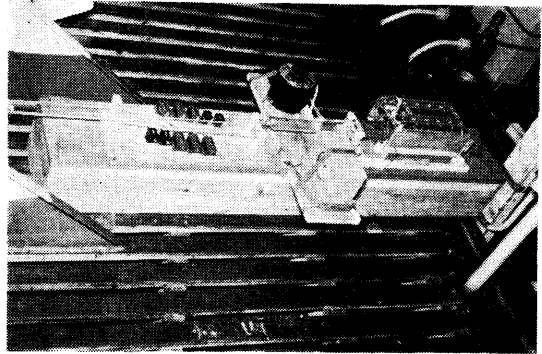


Photo 1・12 操舵頻度計

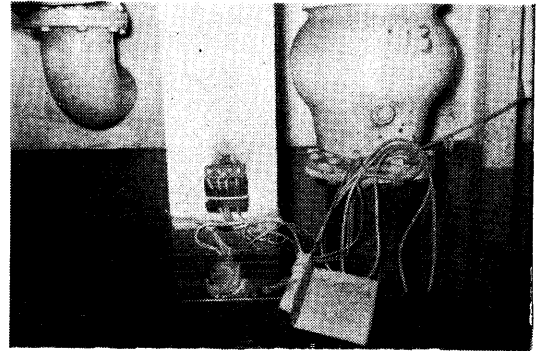


Photo 1・13 横応力ピックアップ

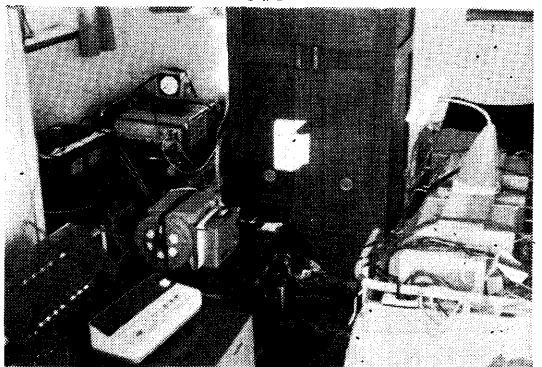
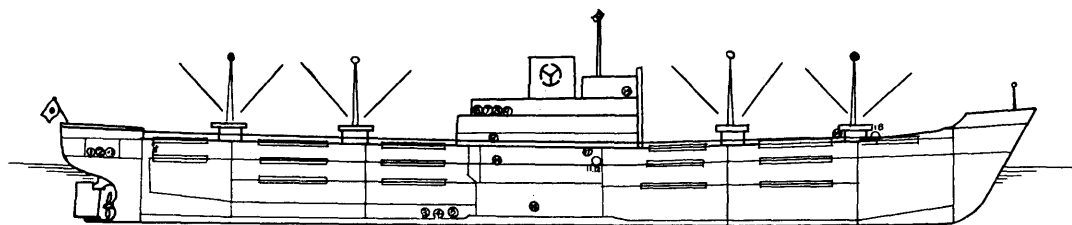


Photo 1・14 計測室全景

M.S. YAMATAKA MARU



Items	Instruments	Position
1 Helm Angle	Potentiometer	Steering engine room
2 Steering Frequency Counter	Counter type	Steering engine room
3 Revolution	Magnet (Pulse)	Shaft tunnel
4 Revolution	Tachometer	Shaft tunnel
5 Torque	Hitachi type powermeter	Shaft tunnel
6 Rolling Angle	Free-gyroscope	Hospital
7 Pitching Angle	Free-gyroscope	Hospital
8 Yawing Angle	Gyroscope	Hospital
9 Acceleration (Heaving)	Accelerometer	Hospital or Bridge deck
10 Acceleration (Heaving)	Accelerometer	Co ₂ room
11 Acceleration (Heaving)	Accelerometer	Refrigerator room
12 Acceleration (Heaving)	Accelerometer	Steering engine room
13 Acceleration (Heaving)	Accelerometer	No. 1 winch platform
14 Water Level of Midship	Super-sonic Freeboard meter	Port side
15 Encounter	on-off switch	Navigation Bridge deck
16 Webb Frame Stress	Strain gauge	Machinery room
17 Upper Deck Stress	Counter type	Co ₂ room
13 Maximum Water Pressure	Pressure gauge	Upper deck

Fig 1・1

ビジコーダー I

チャンネル(1), (2)タイムと出会周期(記録紙の両端)
; (2)発電式の回転数; (3)舵角; (4)水位; (5)横応力; (6)
CO₂ 室の上下加速度; (7)冷凍室の上下加速度; (8)縦揺
れ; (9)横揺れ; (10)船首揺れ; (11)トルク

ビジコーダー II

チャンネル(1), (2)タイムと出会周期; (4)計測室の上下
加速度; (5)操舵機室の上下加速度; (6)第1ウインチ
室の上下加速度; (11)インダクション式の回転数。

以上の様にビジグラフには 18 チャンネルを使用し
て, 計測項目の15項目を記録した。Photo 1・10 に記
録部の全景を示す。

同時に併用したデジタイザーには縦揺れ, 横揺れ,
横応力舷側水位などを記録させた。

このデジタイザーについての詳細は附録Cに述べて
ある。Photo 1・11 はデジタイザーの本体である。

Fig 1・4 には TEST NO. 220 の記録の一部を示す。

1・3 試験の種類および方法

1・3・1 定期計測

北太平洋上を航行中は原則として, 船上の時間で毎
日午前11時附近に前述の観測および計測項目の測定を
行つた。

この定時計測は次記の理由に基づいて, 約15分間と
した。

前2回は計測時間を10分間前後で行つてはいるが, 今
回はデジタイザーを使用したために, このデジタイザ
ーの能力から云つて4チャンネル全部を使用した場合
は同一チャンネルのサンプリング間隔は1.5秒となる。

このサンプリング間隔は動揺の統計解析にほぼ適した間隔と云える。一方統計解析を行う場合、パワースペクトルを精度よく算出するには、データ数、ラグ数、ウィンドウなどが問題となる。そこで、ウィンドウとしては推定値の偏りが少なく、分散も小さくなり良い結果が出ると云われている W_2 というもの（統計解析のところで述べる）を使用することとし、またラグ数を60~90とすれば、これに適するデータ数は600~900となる。従つて計測時間は必然的に15~20分間の測定が必要になる。

1.3.2 随時計測

気象や海象状態などにより、計測項目中によい資料が得られると思われた時に、時間の如何を問わず15~20分間に亘つて計測を行つた。

1.3.3 Z 操舵試験

無風で波がなく、平水中に近い日を選んでZ操舵試験を実施した。試験方法は簡単で、マスターコンパスにより船の方位が1度偏針する毎に押しボタンで合図マークを計測室に送り、この合図マークと前述の方位と舵角と時計を計測室のビジコーダーに記録させた。試験は現在一般に行なわれている方法に従い、5°, 10°, 15° の三種類の舵角について行つた。

1.3.4 自動操縦装置の応答試験

Z操舵試験と同じ日に本船に装備されている自動操縦装置(東京計器製)の応答性を知る試験を行つた。現在用いられている自動操縦には Rudder Adjust と呼ばれ、予定針路よりの偏り角に比例して舵角を取る時

の比例常数を定める調整と、Rate Adjust といつて偏り角速度に比例して舵角を取るときに比例常数を定める調整、Weather Adjust といつて小さい偏角に依りて無益な操舵を繰返すのを防ぐ調整 (dead band とか back lash) とがある。これを適当に調節して気象、海象に適した Rudder Adjust, Weather Adjust (Rate Adjust はほぼ一定) にしておく。

今回は Weather Adjust を考えないで、Rudder Adjust と自動操縦装置のサーボ機構に於ける固有周期とを調べることにした。

試験は直進させておいて自動操縦装置の設定針路を急に10度偏針させて、その時の舵角と船の方位の変化を記録させた。

1.3.5 速力一馬力試験

復航時の海面状態が非常に静穏な日を選んで、普通試運転時に行う速力一馬力試験を行つた。試験は機関出力を階段状に変化させて速力、軸馬力、回転数を測定した。この時の速力は船底圧力ログを用いたが、前述の様に流木テストで速度補正を行つたものを用いた。これから得た結果は復航におけるシーマージンや速度低下などの基準曲線とした。

1.4 試験の経過

今回の試験を実施した北太平洋に於ける航路は Fig 1.2 に示す通りである。図中の丸印は、現地時間でその日の正午の船の位置を表わす。図に示すように、本船は往路では、北緯30°ないし35°の間を航行した。これは満載吃水線の帯域別があり往復路とも米国の太

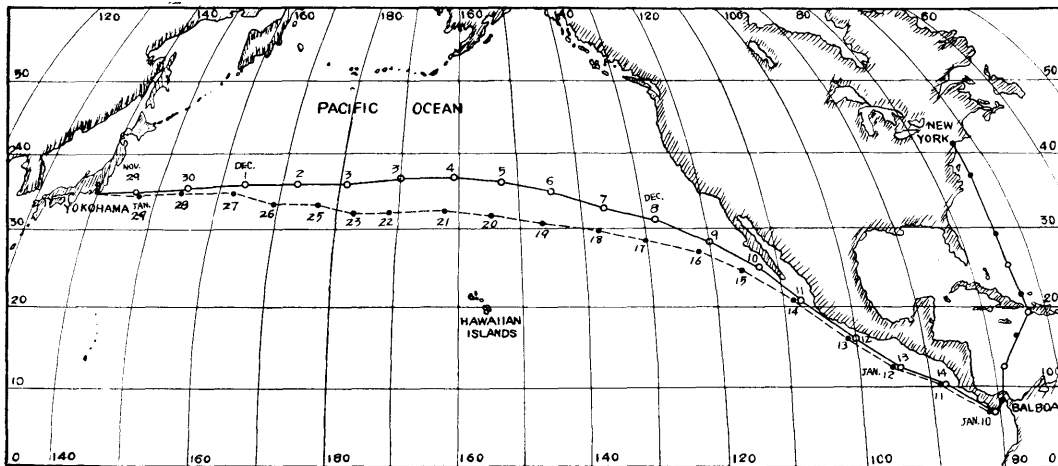


Fig 1.2 North Pacific Route of M.S. YAMATAKA-MARU

平洋の西海岸に寄港しなかつたからである。

この試験期間における吃水状態変化は Fig 1・3 に、天候、海象などの大略は Table 1・3 に示されている。

つぎに、本船が昭和38年11月28日横浜港を出発し、昭和39年1月31日同港に帰港する間の経過の概略について述べる。

i) 往路 (横浜—パナマ運河—ニューヨーク)

横浜港を出航し、パナマ運河経由でニューヨークに直航した。

パナマのバルボア到着は12月15日 16.00 時で、この間の全航程は 7,782 マイル、平均速力 18.7 ノットであつた。

出港時の吃水は、船首が 7.61m、船尾が 8.09m であつた、パナマ運河到着時の吃水は船首が 6.87m、船尾が 8.10m であつた。これは実測値であるが、航海中の値は消費量による概算値である。

往路は大陸の高気圧から吹き出す追風による風浪と、更に、これと共存する同方向のうねりを船尾からうけながら北緯 35 度線に沿つてしばらく東航した後、次第に北上して行つた。この間は風力 3～4 程度で、各計測項目とも余り変化がなかつたが、定時計測によつて追波中の資料を得た。

西経 160 度付近から徐々に南下を始め、この付近からパナマ運河に至る間は比較的静穏な海面状態の日が続いたので、12月8日以降の定時計測は止めた。そこでこの間を利用し、本船の建造後の航海日誌を借用し、太平洋航路に就航した第1次から第17次までの航路、気象、海象、速力などの記録を写し取り統計的資料とした。

12月10日の午前中の非常な静穏な時に操縦性試験とし Z 操舵試験を行つた。

パナマ運河を通過し、ニューヨークに向う途中の太平洋において、2日ほど波長は比較的短かつたが、かなり強い向波に遭遇し、船首が波に突入して、スプレイが高くあがり、しばしばレーシングを起す様な状態があつたので、向い波中の計測を行つた。

ii) 復路

ニューヨーク港を1月4日 18.30 時に出航し、パナマ運河を9日に通過し、1月31日に横浜港に帰港した。

パナマ—横浜間の全航程は 7,829 マイル、平均速力 16.62 ノットであつた。

吃水はニューヨーク港で、船首が 8.42 m、船尾が 9.20m であり、横浜到着時の吃水は、船首が 8.10m、

船尾が 8.42m であつた。

大西洋、カリブ海は比較的静穏であつた。

パナマ運河を経て西経 140 度付近までも静穏であつたので、この間に速力—馬力試験と船底圧力ログの速度計の補正のための流木による速力試験とを実施した。

西経 140 度付近からは、カナダの太平洋岸に向つて北太平洋の北部を東進して来た勢力の強い低気圧により発達した波が中程度のうねりとなつたものに遭遇し、この波が6日間にわたつて船首より右舷 10～20 度の方向からやつて来た。最高時の波長は 160m、波高は 3.5m であつた。この間風力 2～3 の風を右舷真横から受けた。

このうねりが収まつて1日静穏な海面の日があつたのちに、既に2番目の低気圧が本邦東海上を発達しながら東進しており、東経 150～180 度の広範囲にわたり風力 5～8 の風が48時間以上吹き続けていて、この風によつて完全に発達した波が伝播してきたので、非常に顕著な大きいうねりに遭遇した。また、この時は風力 3～5 の風を低気圧の周辺の影響として同時に受けた。うねりの大きさは最大のときは波長 200m、波高 9 m に達し、船はこのうねりを真向いより受けて進んだので、船首が海水に突入することが頻繁な場合には船速を下げ航行しなければならぬこともあつた。このうねりは3日間続いた。

この状態が終り半日経つと次に3番目の低気圧の中心に突入し、ここで2日間にわたり中程度の風浪のうねりに遭遇し、またも船はしばしば船首を海面に突込み船速を下げ航行しなければならなかつた。

この低気圧が過ぎて中1日において、横浜帰港の2日前に4番目の低気圧に出逢つた。この時は風力は9に達したが、まだ波は発達しつつあつたので、風波は、波長が 90m、波高が 7 m であつた。これを左舷ほぼ真横より受けて激しく横揺れを起した。

以上の様に復路は向い波、横波の場合や発達する波の場合など船体運動、シーマージンの見地より云つて変化の多い資料を得るために、天候、海象状態などによつて定時計測の他に、時間の如何をとわず随時計測を行つた。

なお、トルクのターニングによる零点較正や動揺計など総ての計測項目の計器の検定を横浜港出港時、パナマ運河、ニューヨーク港到着、同港出港時、パナマ運河、横浜港到着時などにそれぞれ実施した。

2番目の低気圧の移動状態、風力などと本船との関

Table 1.3 Test number and measurements

	DATE	TEST NUMBER	WEATHER	TIME	WIND		SEA STATE SKETCH SWELL → SEA →	SWELL / SEA			SEA SCALE	SPEED (KNOTS) R.P.M.	S.H.P.	ATMOSPHERE (mb)	REMARKS
					SCALE	DIRECTION (DEGREE) VELOCITY (M/S)		LENGTH (METER)	HEIGHT (METER)	PERIOD (SEC)					
2	1963 Nov. 29	101	CLOUDY	11.20 S 11.30	1	90 2		75	1.0	9.0	2	18.0 105.0	9,300	1018.0	28th Nov. 14.55 LEFT YOKOHAMA
3	Nov. 30	102	FINE & CLOUDY	10.35 S 10.43	2	62 8		50	0.8	8.0	3	17.7 105.0		1015.5	
4	Dec. 1	103	RAIN	10.40 S 10.50	3	104 9		70 15	3.0 1.5	8.0 4.5	4	17.5 105.4	8,900	1006.0	
5	Dec. 2	104	CLOUDY	11.45 S 12.02	3			100 2.7	5.0 2.0	9.6 6.0	4	17.9 105.0	9,300	1014.0	
6	Dec. 3	105	CLOUDY	13.00 S 13.10	3	112 123		105 28	3.0 1.4	10.7 6.2	4	18.2 106.7	9,450	1015.5	
7	Dec. 3	106	CLOUDY	10.30 S 10.40	2	120 65		80 20	2.3 1.0	9.1 3.5	4	18.3 107.0	9,270	1018.0	
8	Dec. 4	107	FINE & CLOUDY	10.30 S 10.40	0			65 25	1.2 0.9	7.5 4.0	2	18.1 106.8	9,450	1017.5	
9	Dec. 5	108	RAIN	10.30 S 10.45	4	0 115		28 14	2.0 0.7	7.0 4.3	4	17.0 104.8	9,100	1014.0	
10	Dec. 5	109	RAIN	16.00 S 16.10	4	10 115		54 30	2.7 1.0	7.9 5.3	5	16.5 103.6	9,200	1008.5	
10	Dec. 6	110	SQUALL	10.30 S 10.40	3	70 15		55 20	1.7 0.8	7.4 4.1	3	17.0 104.6	8,600	1018.5	

	DATE	TEST NUMBER	WEATHER	TIME	WIND		SEA STATE SKETCH	SWELL / SEA			SEA SCALE	SPEED (KNOTS) R.P.M.	S.H.P.	ATMOSPHERE (mb)	REMARK
					SCALE	DIRECTION (DEGREE) VELOCITY (M/S)		LENGTH (METER)	HEIGHT (METER)	PERIOD (SEC)					
11	1963 Dec. 7	111	CLOUDY	10.30 S 10.40	1	70 9		27 13	0.9 0.5	3.0 3.0	2	18.0 106.1	8,750	1025.3	
14	Dec. 10	112	CLOUDY	10.00 S 10.35	0			73 18	0.9 0.4	7.2 3.0	2	18.0 105.0	8,950	1019.4	ZIG-ZAG TEST
21	Dec. 17	113	FINE & CLOUDY	09.00 S 09.10	4	50 12		100 46	3.0 1.4	8.7 5.7	5	16.0 103.2	8,000	1011.0	15th Dec. 16.00 ARRIVED BALBOA 16th Dec. 22.00 LEFT CRISTOBAL
23	Dec. 19	114	FINE & CLOUDY	09.30 S 09.40	4	0 14		92 40	3.1 1.0	8.9 6.0	5	16.5 101.3	8,350	1015.0	
"	Dec. 19	115	CLOUDY	14.00 S 14.10	4	10 15		100 40	2.5 1.0	8.9 6.0	5	16.0 100.5	8,300	1014.8	21st Dec. 22.00 ARRIVED NEW YORK
42	1964 JAN. 8	201	FINE & CLOUDY	09.05 S 09.15	4	120 10		45 10	2.0 0.5	6.9 3.0	4	17.6 103.2	9,800	1016.5	4th Jan. 18.30 LEFT NEW YORK
44	Jan. 10	202	FINE & CLOUDY	09.00 S 09.05	0						0	17.0 105.0		1010.0	9th Jan. LEFT BALBOA SPEED-POWER TEST
46	Jan. 12	203	BLUE SKY	09.05 S 09.20	1	55 8.5		15			0			1012.0	SPEED TEST
49	Jan. 15	204	CLOUDY	13.35 S 13.45	3	70 13		90 25	4.8 1.2	8.5 5.3	5	16.6 103.6	7,420	1016.0	
50	Jan. 16	205	CLOUDY	09.10 S 09.20	3	127 6		90 20	2.2 0.7	9.0 4.0	4	17.0 104.0	7,800	1025.0	

	DATE	TEST NUMBER	WEATHER	TIME	WIND		SEA STATE SKETCH	SWELL / SEA			SEA SCALE	SPEED (KNOTS) R.P.M.	S.H.P.	ATMOSPHERE (mb)	REMARKS
					SCALE	DIRECTION (DEGREE) VELOCITY (M/S)		LENGTH (METER)	HEIGHT (METER)	PERIOD (SEC)					
51	1964 Jan. 17	206	SQUALL	09.00 S 09.10	3	-80° 8		160 15	3.5 0.7	11.3 3.7	3	16.9 105.6	7.870	1023.0	
52	Jan. 18	207	CLOUDY	09.00 S 09.10	4	-70° 11.5		115 32	2.9 1.0	9.7 6.2	4	16.5 105.8	7.700	1025.0	
53	Jan. 19	208	CLOUDY	09.00 S 09.10	2	10° 5.5		160 10	3.0 0.5	10.6 3.5	3	16.7 104.4	7.530	1023.5	
54	Jan. 20	209	FINE & CLOUDY	09.00 S 09.10	2	-120° 7		75 32	1.5 1.0	8.7 5.8	3	17.0 105.6	8.050	1028.8	
55	Jan. 21	210	CLOUDY	08.45 S 08.50	2	70° 8		35 35	0.4 0.4	5.3 5.3	2	17.5 106.1	8.750	1023.0	
56	Jan. 22	211	BLUE SKY	09.00 S 09.10	6	0° 12.5		100 35	3.9 1.5	9.3 5.6	5	16.2 101.4	7.600	1013.0	
"	Jan. 22	212	CLOUDY	14.00 S 14.10	6	0° 13		145 40	6.0 1.9	10.0 5.9	7	15.6 101.4	7.800	1011.5	
"	Jan. 22	213	CLOUDY	16.25 S 16.40	5	0° 13		200 55	8.9 2.4	13.0 6.2	8	14.8 99.7	7.730	1012.5	
57	Jan. 23	214	FINE & CLOUDY	08.05 S 08.20	5	-70° 12		200 60	7.8 3.2	13.5 6.8	8	15.0 100.9	8.450	1015.0	
"	Jan. 23	215	BLUE SKY	14.00 S 14.15	6	35° 16		190 80	6.4 2.1	11.4 6.2	7	15.5 101.2	8.100	1014.0	

	DATE	TEST NUMBER	WEATHER	TIME	WIND		SEA STATE SKETCH	SWELL / SEA			SEA SCALE	SPEED (KNOTS) R.P.M.	S.H.P.	ATMOSPHERE (mb)	REMARKS
					SCALE	DIRECTION (DEGREE) VELOCITY (M/S)		LENGTH (METER)	HEIGHT (METER)	PERIOD (SEC)					
58	1964 Jan. 25	216	CLOUDY	13.17 S 13.30	4	40° 8.5		140 50	6.2 1.6	11.0 5.5	8	12.0 79.6	4.000	1006.3	
59	Jan. 26	217	CLOUDY	10.30 S 10.40	7	75° 28		70 70	2.3 2.3	7.5 7.5	6	15.5 100.9	8.000	999.5	
"	Jan. 26	218	RAIN	13.30 S 13.50	7	75° 20		95 50	5.4 2.0	8.7 6.8	8	14.0 95.0	7.500	1000.0	
"	Jan. 26	219	RAIN	15.30 S 15.45	7	35° 17		100 45	6.2 1.8	8.5 5.7	7	10.3 81.4	4.650	1000.5	
60	Jan. 27	220	FINE & CLOUDY	09.00 S 09.18	2	30° 5		100 60	1.5 1.5	9.0 8.0	4	16.7 103.2	8.850	1013.5	
62	Jan. 29	221	RAIN	08.30 S 08.50	9	35° 35		90 90	7.0 7.0	10.0 10.0	8	15.0 100.0		1000.0	
															31st Jan. 13.00 ARRIVED Y'HAMA

注: 船が波と出会う角度は附録DのFig D-5, D-10を参照のこと。

係を知るために附録Eに東経120~180度の範囲における航海時の天気図を示しておいた。

2. 試験結果の要約

この第三回北太平洋における航海性能実船試験において得られた各計測結果の全般について、その概略を述べる。

2.1 海象と気象

山隆丸が往復の航海に於いて遭遇した風の強さ（ビューフォースケール）を、船の航海日誌から4時間毎の値として読みとり、東航と西航別に出現頻度をヒストグラムの形として示したものが Fig 2.1 である。

本試験期間に遭遇した風力の出現頻度と本船が就航以来冬期北太平洋の中部航路で遭遇した風力の出現頻度とを比較するため、就航以来の本船の航海日誌から24時間毎の値を読み取り同一図中にヒストグラムの形で表示した。

この図より本航路における冬期の風力の出現頻度がある程度予想することが出来る。

例えばビューフォート6以上の風が吹くのは一航海

において20%程度あることが想像される。

今回の風力分布は就航以来の冬期北太平洋の中部航路で遭遇した確率とほぼ同程度の分布になっているので、この航路の略代表的な例であるとみてよいものと思われる。

2.1.1 風力と海象との関係

太平洋、大西洋の風力と海象については最近各国で大いに資料が求められて来たが、一、二を除いては見べきものがないのが現状である。

今回の観測結果につき Fig 2.2 に風速と波高との関係を、Fig 2.3 に風速と波との関係を、Fig 2.4 にビューフォートに対する波高の関係をそれぞれ示した。Fig 2.2 及び Fig 2.3 には船舶技術研究所と日本造船研究協会調査部会とが共同で海上資料を統計解析して求めた I. S. S. C の海区 3, 4 (日本の東方、南方海域) に関する関係と⁴⁾、十分発達した風波に対して Neumann のスペクトラムから求めた結果と、H. U. Roll によつて得られた北大西洋10定点の平均値³⁾などを同一図中に記入しておいたが、本試験中において観測された風浪は Roll の値を上限として、それ

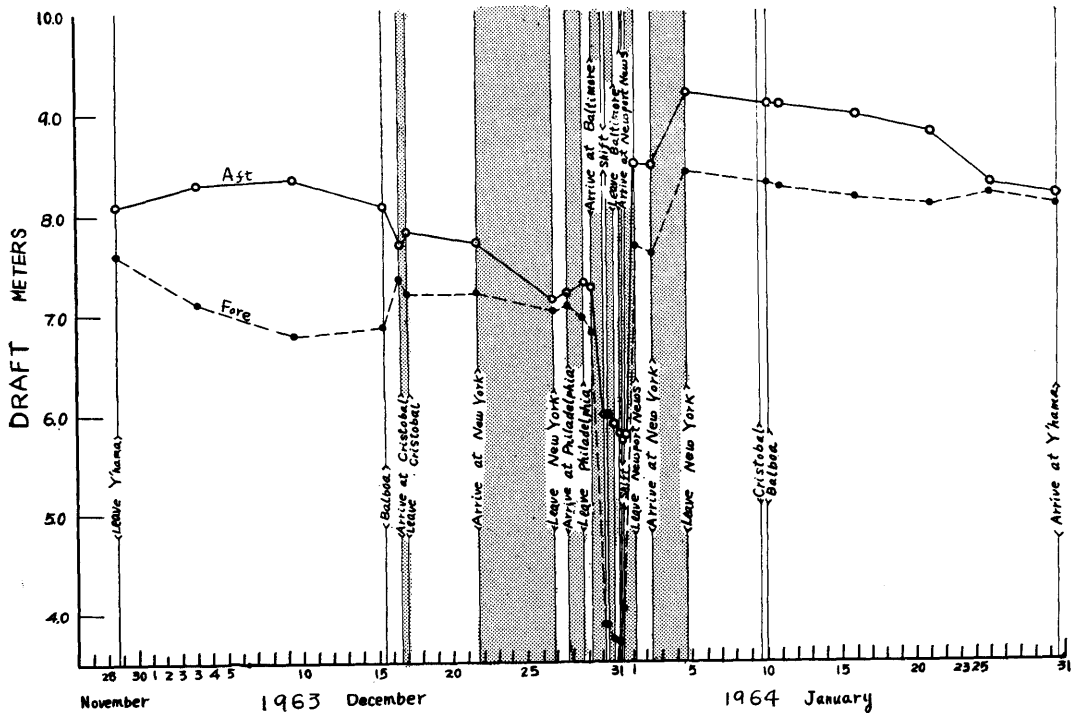


Fig 1.3 Draft variation during the test

以下の波高，周期を示していることが判る。うねりについては上述の三者の結果とは無関係に遙かに大きい値を示している。これらのうねりが遠方の風浪発生域において生成されたものが遠く伝播して来たものであることを考えれば当然のことである。

しかし，ここに参考に掲げた二つの資料によるものはうねりも含んで観測しているので，風浪にうねりが加わつたものであると考えれば，あながち不当な傾向であるとはいえない。Fig 2・4についても同様な点が注目される。図中には参考として Sverdrup-Munck が示している曲線をのせてみた。↗

↗遠方の生成域での風と波との関係がどうなつていのかを調べてみる。Fig 2・2, 3, 4 の中で♂印ものが，前記の復航中における 2 番目の低気圧によつて生成された波がうねりとなつて伝播して来たものである。この低気圧の気象図は附録 E に示してあるが，それによれば大略吹送域 1,000km × 2,000km にわたつて風力 5 から 8 の風がほぼ同一方向 (WNW) に 24 時間以上吹き続けており，これは風浪の完全発達に充分な条件である。いま風力 5, 6, 7, 8 の風による完全発達波に関する値を Pierson-Neumann-James の示した関係⁵⁾より求めると，Table 2・1 のようになる。

Table 2・1

風力	風速	平均風速	F _m	t _m	波高			周期				平均波長
					H _m	H ^{1/3}	H ^{1/10}	T _L	T _U	T _{ma}	\overline{T}	
5	ノット 17~21	ノット 19	マイル 55	時間 8.5	フィート 4.1	フィート 6.5	フィート 8.3	秒 2.6	秒 10.3	秒 7.4	秒 5.3	フィート 95
6	22~27	24.5	140	14	8.2	13.1	16.7	3.8	13.8	9.9	7.0	167
7	28~33	30.5	290	23	14.2	22.7	28.8	4.8	16.9	12.3	8.7	260
8	34~40	37	500	34	22.9	36.5	46.7	6.2	20.2	14.9	10.7	380

いま考えている低気圧からのうねりのなかで船から観測した最大値は TEST NO 213 に於けるもので，波長 $L_w = 200\text{m}$ ，波高 $H_w = 9\text{m}$ ，周期 $T_w = 13\text{秒}$ である。そこでうねりの伝播による減衰を考えないとすれば，Table 2・1 の中の風力 7 による完全発達波とほぼ一致するのであるが，実際には減衰があることを考えると発生域においてはそれ以上の風力であつたと思われる。

生成域の波が遠く離れた船の位置までどの様な順序で伝播して来るかを予報することは船の運航性にとつて必要である。

2・1・2 波の観測値

各計測時に於ける気象，海象状況などは Table 1・3 に示してある。計測員 3 名が観測した総ての波の周期と波長との関係を Fig 2・5 に示した。普通古典的に用いられている規測波の波長と周期との関係式は $\lambda = g/2\pi \cdot T_w^2$ であるが，実際の不規則な海面で認められる波長についてはこれに係数 K を掛けた $\lambda = K \cdot g/2\pi \cdot T_w^2$ の形が用いられている。ここで K は波のスペクトラムによつて異なる係数で，スペクトラムの帯域巾が狭い場

合は $K = 1$ に近くなる。即ち，スペクトラムのピーク巾が狭ければ規則波に近くなることを示す。

この図には $K = 1, 2/3, 1/2$ の場合について記入してあるが観測波は規則波としての値より低くなり $K = 1 \sim 1/2$ の間に分散している。

これと各計測毎の個人観測による平均周期より求めた波長と比較すると Fig 2・6 の様になる。これによると波長が 80m 位までは $K \approx 2/3$ となつているが，それ以上になると $K \approx 3/4$ となり，今回のうねりが前記の通り極めて規則正しい理想的なものであつたので，ほぼ理論値に近づいているなど興味ある結果が示されている。

また，N. Hogben らが S. S. Cairndhu によつて観測した波も $K = 2/3$ と 1 の間にあつて平均線は今回の場合によく一致している。

その他についての往復路の波の観測値の計測者別の図は附録 D に示してある。

2・2 推進性能

2・2・1 水槽試験

当所第 1 水槽において山隆丸の 6 メートル模型船 (M.

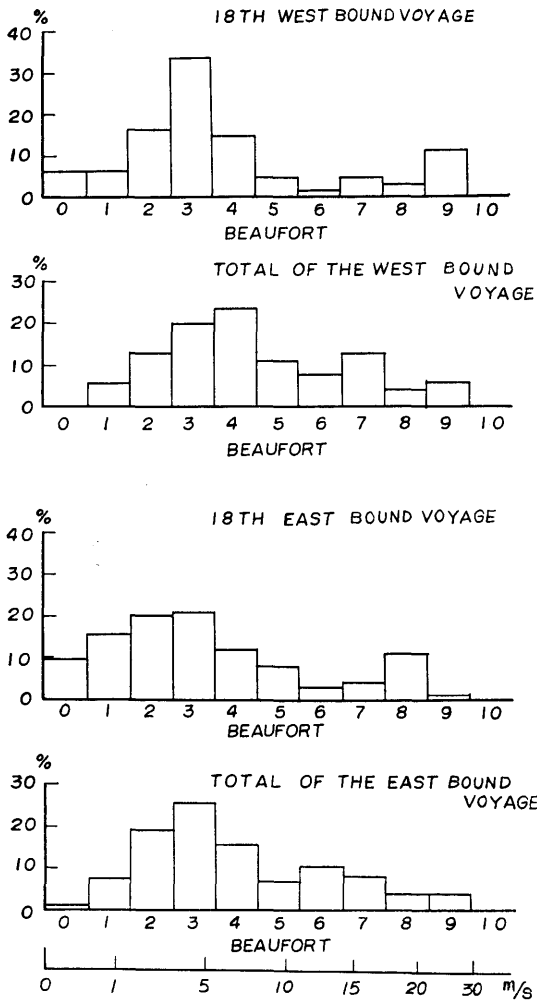


Fig 2.1 Frequency of wind scale

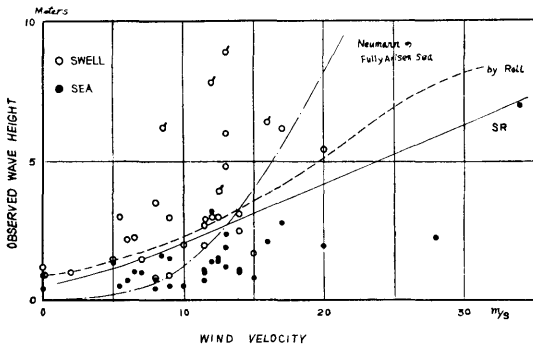


Fig 2.2 Relation between wind velocity and wave height

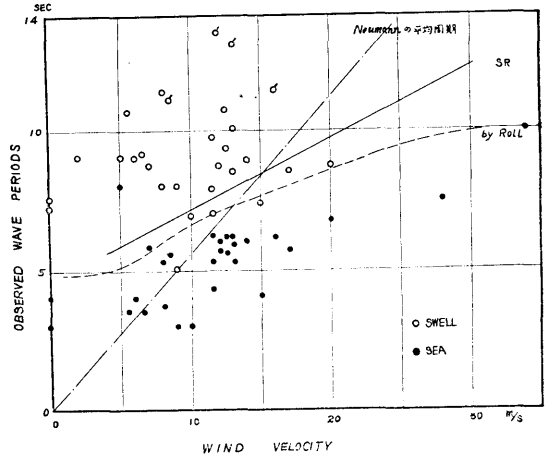


Fig 2.3 Relation between wind velocity and wave period

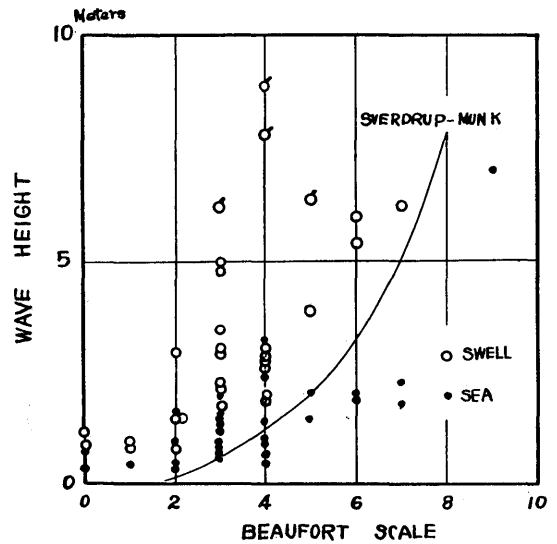


Fig 2.4 Relation of beaufort scale and wave height

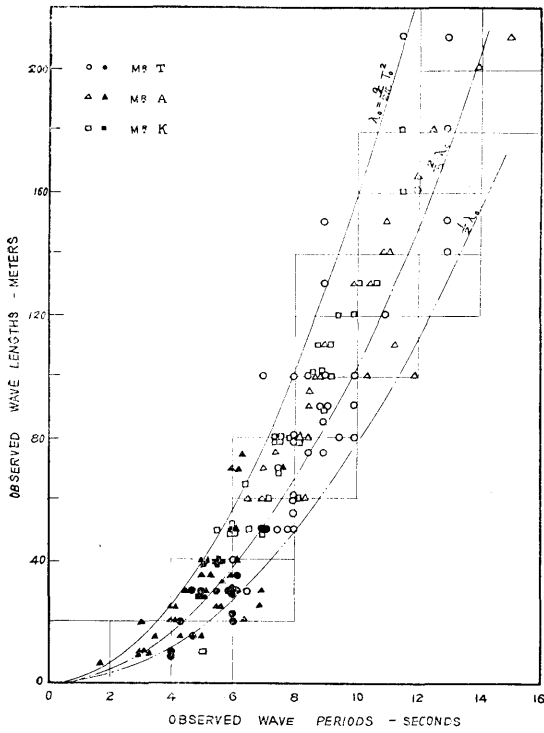


Fig 2.5 Relation of observed period and observed length of wave

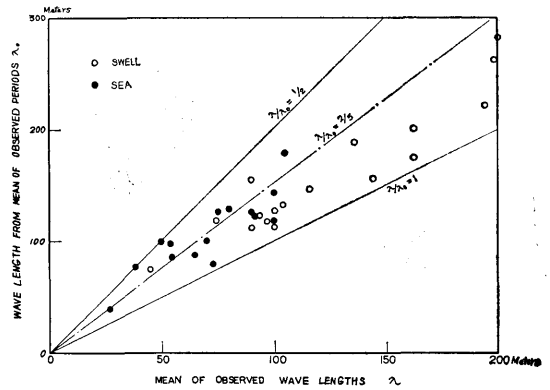


Fig 2.6 Relation of observed length and observed period of wave

Table 2.2 Particular of M.S. No. 1279

Lpp (m)	6.0000
LLWL (m)	6.1944
B (m)	0.8128
d (m)	0.3849

C B	0.674
C P	0.686
C M	0.982
l c b	+0.60%

Table 2.3 Load condition

CONDITION	DRAFT (m)			TRIM	DISPLACEMENT (TON)
	A.P.	M.S.	F.P.		
FULL LOAD	0.3849			0	1.2990
	(9.301)			(0)	(18,332)
TRAIL	0.2532	0.1932	0.1200	0.1200	0.5881
	(6.120)	(4.670)	(3.220)	(2.900)	(8,300)

(注) ()内の数値は実船に対応する値である。

S. 1279) で平水中の抵抗および自航試験を行なった。模型船の主要目を Table 2・2 に、試験時の載貨状態を Table 2・3 に、模型船の船体線図を Fig 2・7 に示す。

試験の結果得られた制動馬力曲線を Fig 2・2 に示したが、この馬力を計算するにあたっては Fig 2・9 に示した新造時試運転成績を解析して得られた ΔC_F および $(1 - W_s)$ の値を用いた。

ΔC_F の値はシェーンヘルの摩擦抵抗算式による値にたいして +0.0001, また $(1 - W_s / 1 - W_M)$ の値は 1.07 であつた。

東航および西航の載貨状態に対応する馬力曲線を Fig 2・9 の馬力曲線より排水量による修正を行なつて求めた。

2・2・2 平水中の馬力と速力との関係

前記水槽試験結果との比較および次項に述べる波浪中における馬力増加を調べるための基礎として、平水中の馬力計測試験 (TNO. 203) を実施した。

試験は海面状態がきわめて静穏な日を選び機関出力を階段状に変化させてその時の船の速力、軸トルクおよび回転数を計測した。

速力は他の試験と同様に船底圧力ログの指示の試験中における平均値を目視で読みとる方法で求めたが、計器の指示値の較正のため、流木による方法も一部併用した。

この結果は模型船による水槽試験結果より約 7%ほど高い値を示しているが、これは本船が出渠後約 10ヶ月の日数を経ていることから、船底汚損等の影響によるものであろう。これを西航時の平水中の馬力曲線とした。

2・2・3 波と風による馬力増加または速力低下

波の中を航行する場合の船の速力は平水中に於ける速力より低くなるのが普通である。そしてこれは風や波による抵抗増加による場合と、船体運動が激しくなり安全上止むをえず機関の回転数を減少させる場合との 2 つに区別される。

さて、波浪中の推進性能は一般には馬力増加をもつて云々するが、3 回に亘る北太平洋実船試験結果を見るといずれの船もほぼ馬力一定で航行しているので馬力増加 50%とか、200%とかいうよりも海象状態による速度低下をもつて示した方が有意義ではないかと思われるので、今回は速度低下率により示してみた。

Fig 2・10 および Fig 2・11 に馬力の計測結果を示す。また、東航および西航時の平均の載貨状態を

Table 2・4 に示す。

Fig 2・10 中に実船で示してある曲線は東航中の平均吃水に対応した平水中の水槽試験結果より求めた馬力曲線である。鎖線で示した曲線は上記馬力曲線にたいする海象による速度低下率を示したものである。この速度低下率は西航時のように船底汚損等を加味した馬力曲線に対してのもので示すのが妥当であるが、東航時の場合は西航時のような馬力曲線を求めなかつたので、模型試験の結果から求めた馬力曲線に対して示した。

Table 2・4

	East Bound Voyage	West Bound Voyage
Draft (m)	7,750	8,500
Displacement (tons)	14,800	16,500

Table 1・3 に示してあるように、東航時は比較的に静穏な海象状態が続き、しかも多くの場合が追い波の状態であつたので速度低下は 10%以内、馬力増加にして 60%以内であつた。

なお、北太平洋に於ける前 2 回の東航時の馬力増加率は第 1 回のときが最大 25%で、第 2 回は最大 150%であつたのとくらべると、海象状態から云つて妥当であると思われる。

西航時 (Fig 2・11) は低気圧が東進するためほとんど向い波の状態であつたのと、数回にわたつて低気圧に遭遇したために種々の海象状態に対する資料が得られた。

それによると、海象状態による速度低下率は、Slight & Moderate で 5%以内、Rough Sea では 10%以内、High Sea になると 10~20%程度まで低下を生じることになる。

また、速度低下の因となる風と波による速度低下を調べるために、Fig 2・12 に波浪階級および風力階級と速度低下の関係を示した。

本図に追い波、横波、向い波と区別して置点してみると、向い波の場合には他の場合とかなりはつきりした相違がみられる。

なお、軸馬力 (SHP) と制動馬力 (BHP) の関係は、次式で表わされると仮定して BHP を求めた。

$$BHP = 1.03 \cdot SHP$$

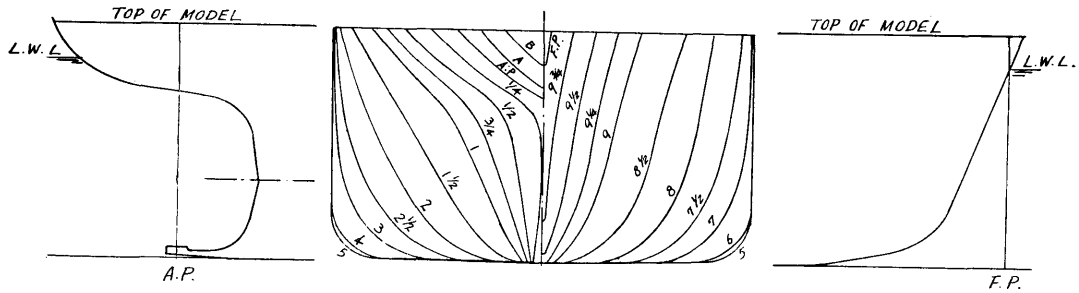


Fig 2.7 Body plan, stem and stern contour of M. S. No. 1279

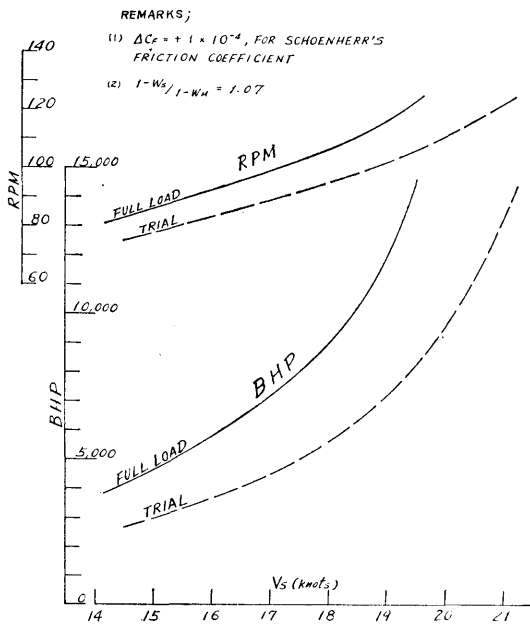


Fig 2.8 BHP etc curves of M. S. No. 1279

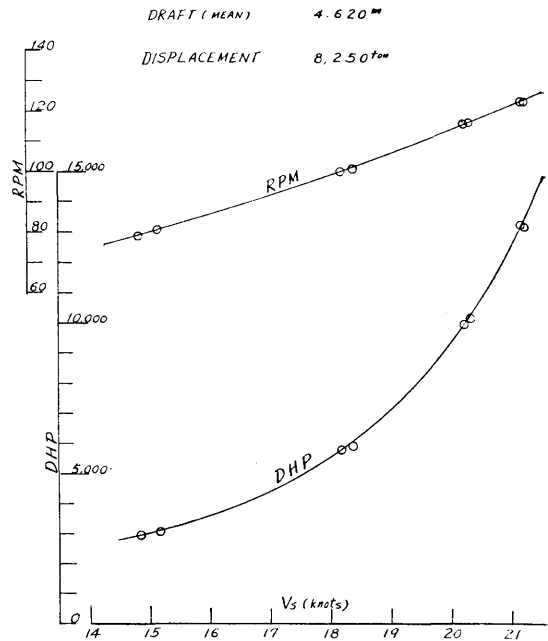


Fig 2.9 Results of official trial

2.3 操縦性能

一般に操縦性能は二つの性質に大別されている。それは方向安定性と旋回性であるが、これは通常相反する性質を有するものである。これらを表わすものとして屢々用いられる操縦性指数Kは、ある舵角に対して一定旋回角速度に達した時のその旋回角速度と舵角との比で旋回力を表わす一つの指数である。もう一つの指数として用いられるTは、ある舵角で一定角速度に達するまでの時間で決まるもので、進路安定及び操舵による追従性の指数⁷⁾を示している。

以上は船の操縦性を示す一つの方法であるが、これ

らの指数K, Tを求めるのは現在Z操舵試験が通常用いられているのが普通であるから、ここでも、この方法⁷⁾によることとした。

2.3.1 Z 操舵試験

無風で海面状態の静穏な日を選んで、上記の操縦性指数K, Tを求めるためにZ操舵試験を行なった。試験は舵角、5°, 10°, 15°の3種類について行なった。本船の試験状態は $d_f=6.82m$, $d_a=8.33m$ $\rho=14,400$ tons, $\rho/\rho_{full}=0.786$, $B/d=2.59$, $Ar/L \cdot d=1/55.36$ $\rho/L^2 \cdot d=0.088$ においてである。この試験結果を Fig 2.13, Fig 2.14, Fig 2.15 に示す。この図中の丸

印は試験時におけるマスターコンパスでの1度おきの偏り角を示すものである。これを解析して得た無次元の操縦性指数 $K' = L/V \cdot K$, $T' = V/L \cdot T$ (V は船の平均速度 m/S) の値を Table 2・5 に示す。

Table 2・5

指数 \ δ	5°	10°	15°
K'	0.936	1.033	0.965
T'	1.513	0.913	0.687

また、この値を試験中の平均角速度を無次元平均角速度に対し、示したのが Fig 2・16 である。普通模型船では K' も T' の様に平均角速度によって変化して行くが、今回の場合は平均角速度によってほとんど変化しないと云う結果になった。

舵面積比に対して K' を置点すると Fig 2・17 のようになる。この図中の線は、ほぼ排水量や船長が本船と同じような貨物船の平均線⁷⁾である。

また Fig 2・18 は旋回性と進路安定性の両者の関連を示すものであるが、図中の線は野本氏が実船の Z 操舵試験より求めた結果の平均線⁷⁾であり、二重丸は今回の結果を示す。この二つの図面からみると、山隆丸は中高速貨物船に特有の旋回性の悪さが僅かながら現われているが、操舵による追従性および進路安定性が非常に優れていることがいえる。

2・3・2 自動操縦装置の調査

Z 操舵試験と同じ日に、自動操縦装置の応答性に関する調査を行なった。自動操縦装置の調節は前述のよ

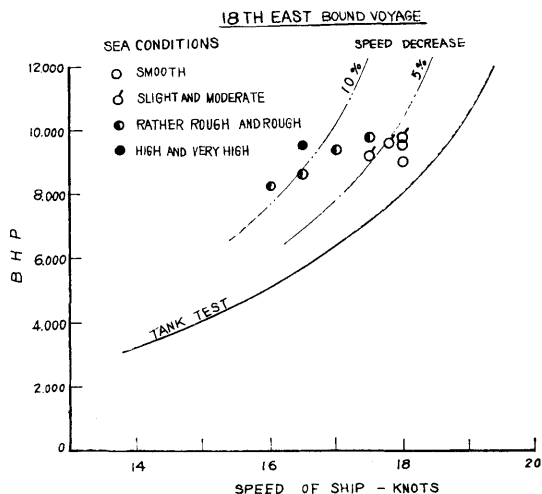


Fig 2・10 Speed decrease at rough sea

うに三つあるが、この試験では Weather Adjust と Rate Adjust を一定にして、Rudder Adjust だけを変えたものについて行なった。

試験は設定コースを急に10度変えさせてその後の舵角と船の方位の変化を記録させたが、その結果を Fig 2・19 に示す。

この図によれば、操舵に長周期の変動が現われている。これは装置のサーボ機構の固有周期であろう⁹⁾。例えば Rudder Adjust が 3 では約 100 秒であり、Rudder Adjust 6 では約 80 秒となつている。このように Rudder Adjust による変化、取り舵量の変化、船

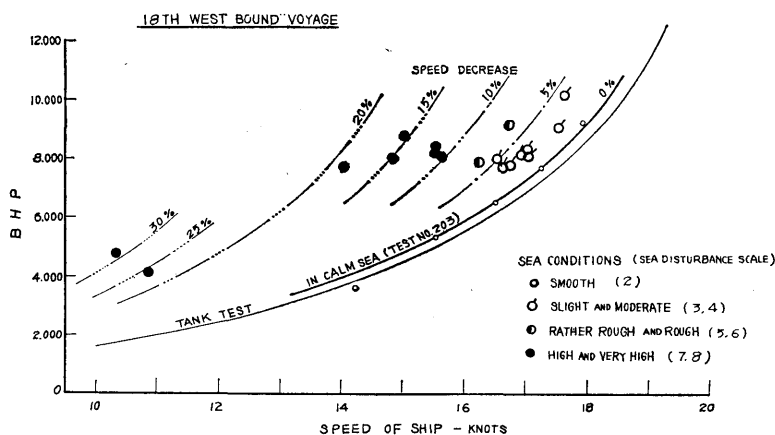


Fig 2・11 Speed decrease at rough sea

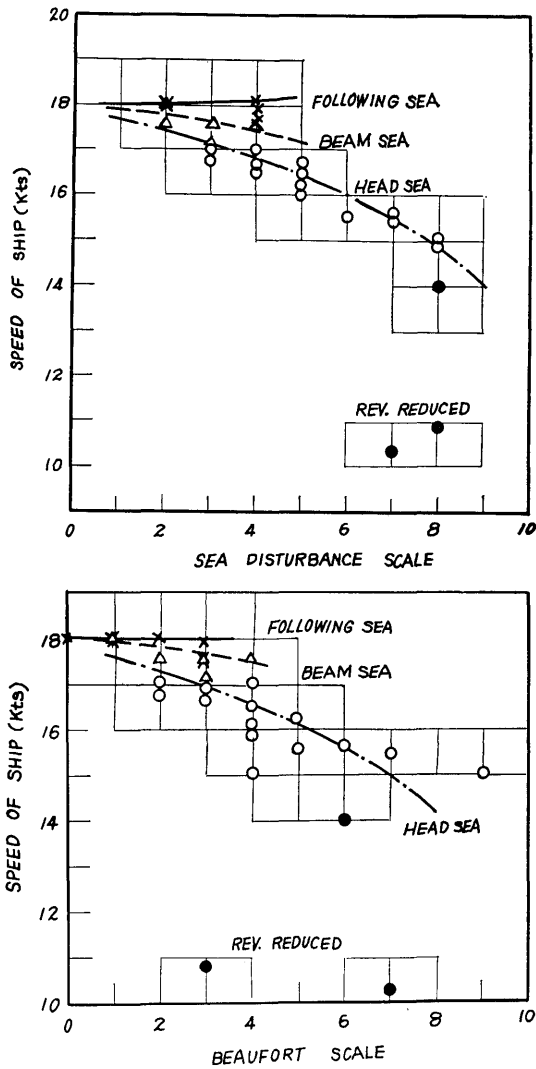


Fig 2・12 Relation of beaufort, sea disturbance scale and ship speed

の応答などが得られている。

今回は Wether Adjust を零にしているのので、この変化については行なわなかつたのは残念であつたが、普通 Weather adjust の調節によつては、操舵に発振現象を起して長周期の蛇行を繰り返す⁹⁾ことがあつたり、波の出会い周期ごとに無益な操舵をする⁹⁾ことが指摘されている。

Fig 2・20 は TEST NO 212 に於ける舵角と船首揺れを示したもので、海象は向波（出会い角は 180 度）で、波浪階級 7 と相当に荒れた場合のものである。こ

れでは長周期の舵行はほとんど見受けられないが、波との出会いごとの操舵は極く僅かであるが見られる。

Fig 2・21 は TEST NO 219 のもので、舵角、船首揺れ、トルクを示したものである。この場合は前例と同じく波浪階級は 7 であるが、斜め向波であつたので、明らかに舵行と出会い周期ごとの操舵が認められる。

長期の舵行については他に 2, 3 の例はあつたが、その周期はほぼ 70~150 秒の範囲にある。これは前記のサーボ機構の固有周期に近い値になつている。

舵行による馬力増加は過去の実船試験結果においてもほとんどないということになつているが、今回の試験でも、最大舵角 10 度、方位 4 度位いの範囲ではトルク増加は認められない。

2・3・3 操舵頻度と操舵持続時間

船は航行中指定の針路を保持するため風や波による偏針を正そうとして常に舵を取つているが、大舵角をしばしば取りすぎると舵による抵抗増加、斜航のための抵抗増加が大きくなる。波浪中を航行する場合にどの程度の舵角をどのような割合でとつているかを操舵頻度計を使用して調べた。その結果を Fig2・22 Fig 2・23 に示す。この図に示す値は、1 時間から 1.75 時間の間に於けるその舵角の持続した時間を全部加へ合せた時間の全時間に対する割合である。

TEST NO 102~111 の合計は East Total として示し、TEST NO. 201~220 の合計を West Total として現わした。これらの図から次の諸点がうかがわれる。

1) 一般に 5 度以上の舵角をとつている時間は 10% よりかなり少ない割合である。そうだとすると本船のように Reaction Rudder で Decreasing Pitch Propeller の場合は 5 度以内の振りでは短周期の正弦的な操舵が行なわれても馬力増加は 2% 以内であることが分つているので¹⁰⁾、操舵による馬力増加は無視出来るといえる。

2) TEST NO. 110 と 217 の例は他のヒストグラムと異なり、2.5 度以内の舵角より 2.5~5 度の舵角の割合が多く、しかも前者は右操舵、後者は左操舵に偏つていることが明示されている。Table 1・3 によれば TEST NO. 110 では右舵 70 度より 1.5m/s の風が、TEST NO. 217 では左舵 75 度より 28m/s の風がそれぞれ吹いていることになつているので、前記の操舵の片寄りはこの風によるものと考えられる。従つて、この船は 70 度附近の横風をうけて風下に回頭する性質を

持つことになるので、本船は水圧中心より風圧中心が前であると推定出来る。

次に操舵がどのような周期で行なわれているかが問題になる。前述の Fig 2・20 と Fig 2・21 によれば 70~150 秒程度に達する長周期のものと 7~14 秒の短周期の操舵とが共存していることが分る。前者の長周期はサーボ機構の固有周期と考えられ、短周期は Fig

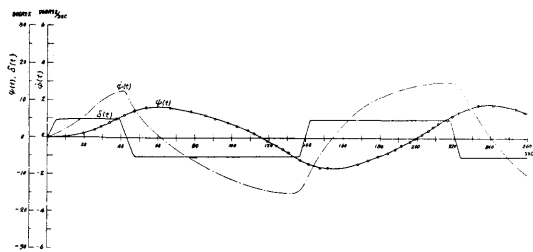


Fig 2・13 5° Z Maneuvering test

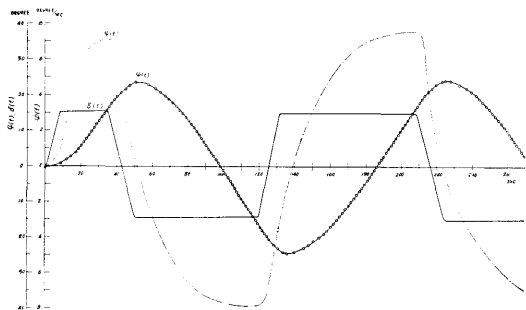


Fig 2・14 10° Z Maneuvering test

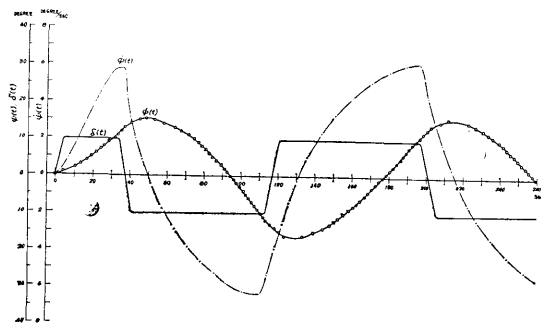


Fig 2・15 15° Z Maneuvering test

2・33・1~2・33・8を見れば明らかなように波との出会周期によつて操舵しているものと考えられる。

2・4 構造強度

2・4・1 縦応力

今回の試験では縦応力の変動値そのものは連続的に記録されずに、頻度を測定した。これは縦応力頻度を用いて船がその一生を通じて受けるとされる応力の

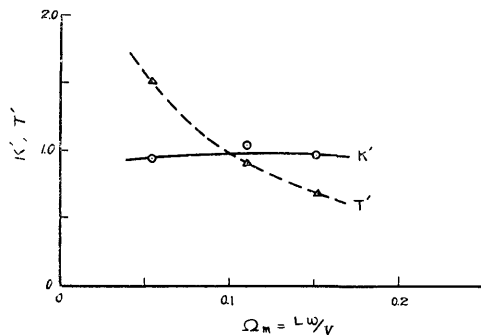


Fig 2・16 Result of Maneuvering

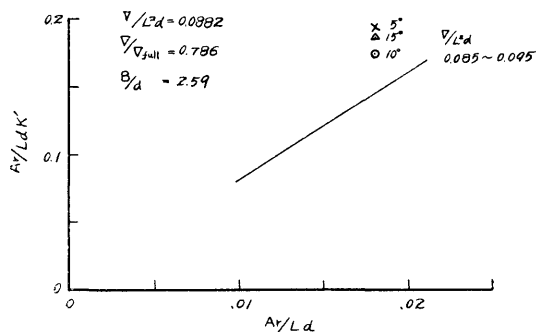


Fig 2・17 Relation of rudder area and turning ability

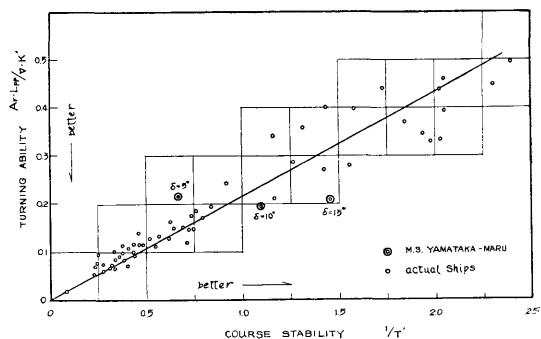


Fig 2・18 K-T Diagram

長期分布を求めるのが目的である。

船体応力変動の長期分布は、波高、波との出会角度、船速、排水量など複雑な因子の組合せで示す短期分布にある重みをつけて重ね合わせるることによつて求められると云われている。¹¹⁻¹²⁾

今回は波高、船速、波との出会角度の三つの因子だけの場合について考え、Table 2・6 に示すように、各因子の階級と全実験を通じての記録の総和から、組合せの時間的割合で重み係数を決めたものを示してある。

これらの因子の組合せは、[2・4・2] のように表わしたが、これは波高1.5~2.5m、船速15~20 knots、波との出会角度は Bow Sea であることを示している。

北太平洋の気象、海象は24時間では、それ程変わらないとすれば、短期分布を1日単位にしても差支えないと思われる。

そこで上記の三つの因子については1日の平均値で各因子の階級を決めた。

Fig 2・24~Fig 2・26は各因子の組合せの短期分布を示してある。この分布は縦応力変動の24時間ごとのヒストグラムの平均線を示したものである。この図によれば、波高が4.5m以下では、船速がほぼ同じであれば、波との出会角度による影響は余り現われていないが、波高が5m以上になると急激に応力は増大するとともに、波との出会角度による影響も現われて来ることが分る。しかし、波高が低い時でも分布が相当の相異が現われる場合があるが、ほぼ各組合せではよくまとまっていると云えよう。

Fig 2・27 には東航時および西航時の各々の合計のヒストグラムとその平均線を示してある。この結果は多くの他の実船試験結果にもみられるように北太平洋を西航する場合は圧縮が 6.3kg/mm^2 、引張が 3.8kg/mm^2 であるのに対して、東航時は圧縮が 3.75kg/mm^2 、引張が 2.25kg/mm^2 とほぼ倍に近いほどの応力を受けていることを示している。

Fig 2・28 には上記西航、東航のヒストグラムの和の平均線とこれから求めた冬期20航海の間で船体を受けると予想される応力の長期分布を推定したものを示した。猶同図中には先に述べたような各組合せの平均の短期分布に重み係数を掛けて一航海の分布を求めたものをも比較のために示した。この場合重み係数を用いて求めた分布は、一航海のヒストグラムから求めた分布とかなりの差が現われているが、このような手法によつても大略分布の推定は可能である。

(79)

図中には参考として、日本造船研究協会第49研究部会¹³⁾ (S. R. 49) が外洋船20数隻を用いて冬期における40航海におよぶ実験の結果より得た平均値、これをもとにして同じく20航海の予想を行つたものを示しておいた。

これによれば今回のと比較するとS. R. 49の値よりかなり小さい応力しか受けていないことになる。

Fig 2・29 は最大縦応力を波高に対して置点したものであるが、これによるとほぼ波高に比例していると云つてよい。

2・4・2 横応力

これまでの実船試験においては、船体の受ける横応力についての計測が行なわれたことは極めて稀であり、これらに関する資料は皆無に等しい。

そこで、本年に引続き来年度も行なわれる予定の実船試験では横応力を中心として計測する計画がある。今回は、その準備段階として、船体中央部のウェブフレームにおけるビルジ部付近の一点で横応力を計測した。

この横応力と密接な関連性があると思われる舷側水位をほぼ同じ位置で船上の一点より測定した。

実船試験における横応力についてはこれといつて定

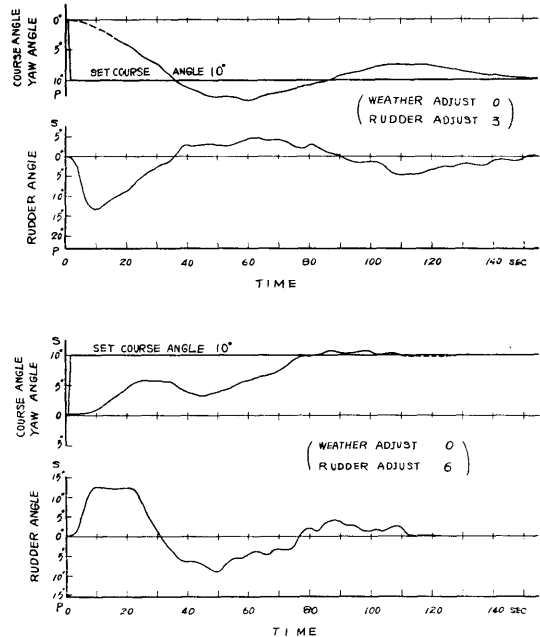


Fig 2・19 Response Test of Auto-Pilot

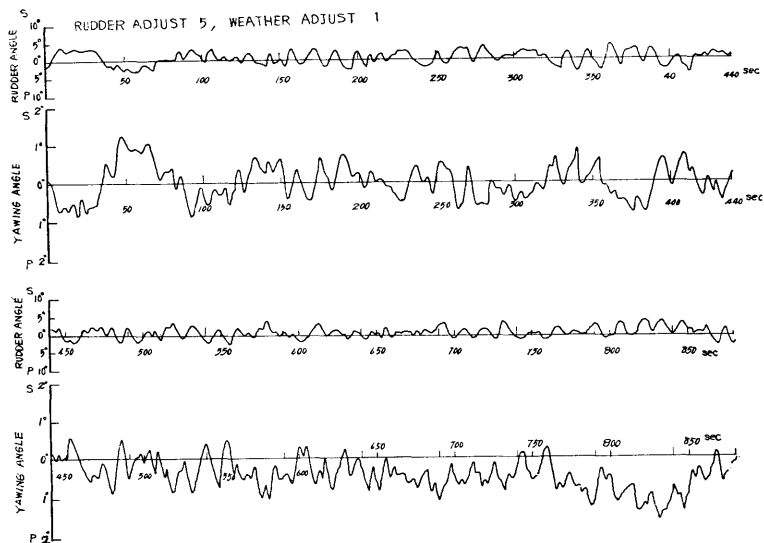


Fig 2 - 20 TEST 212

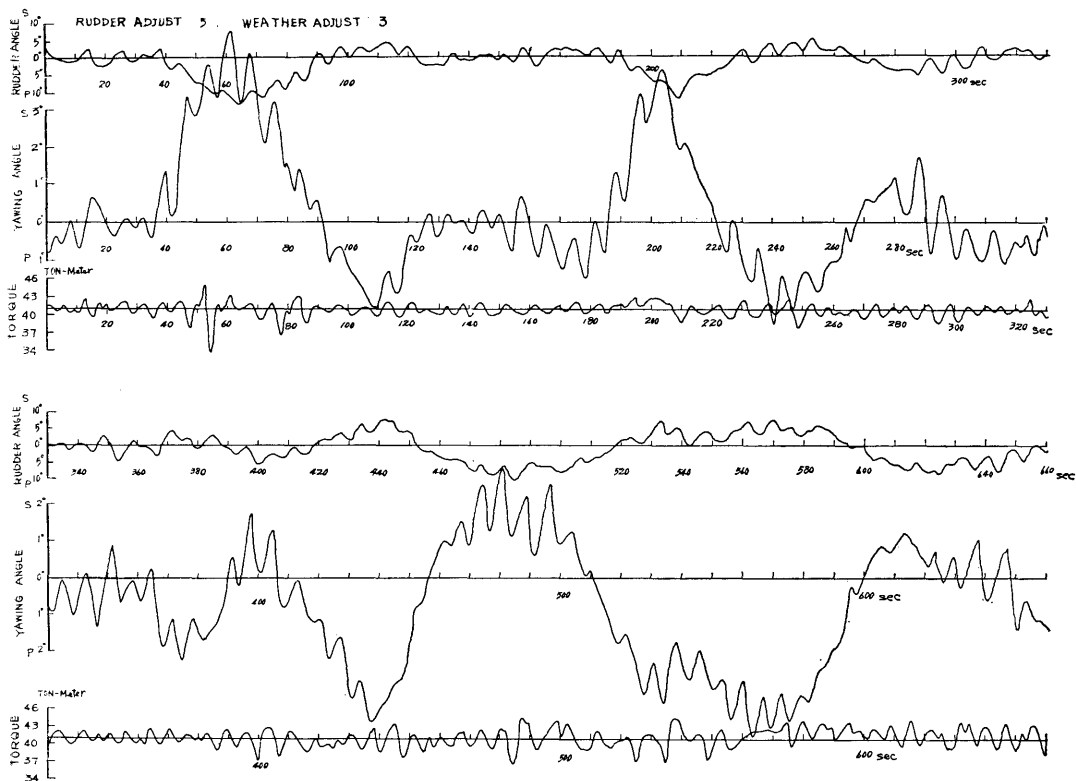


Fig 2 - 21 TEST 219

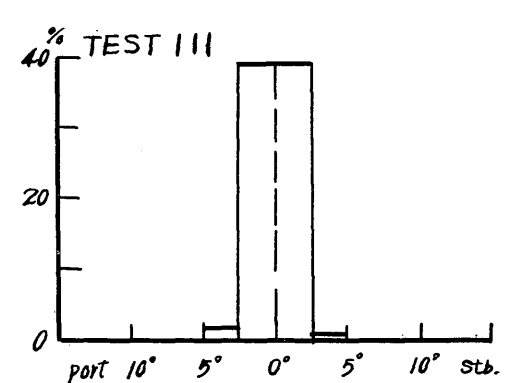
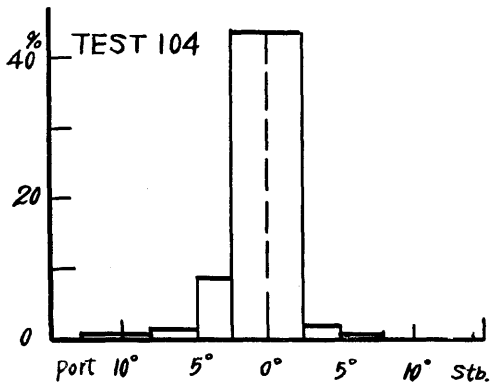
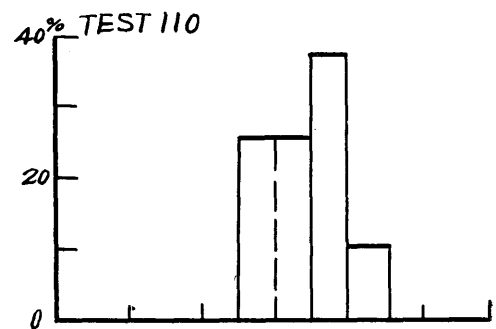
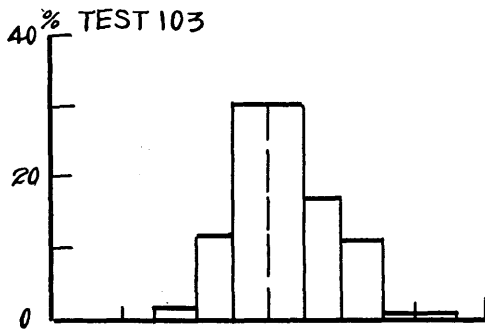
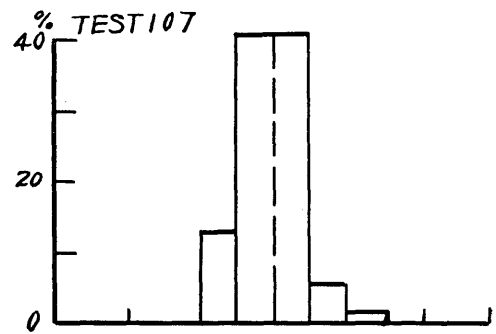
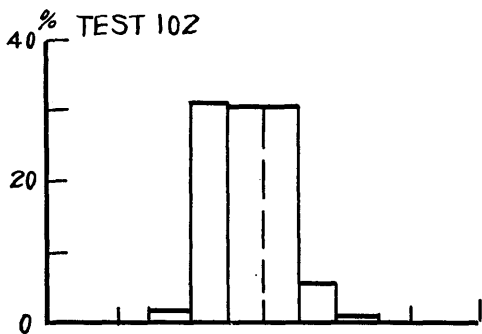
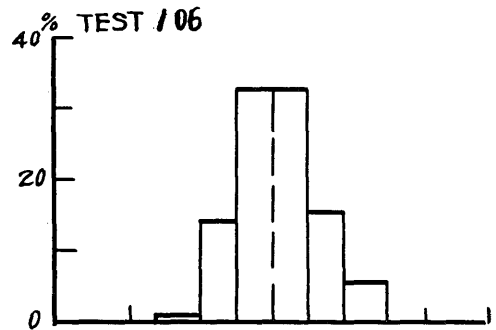
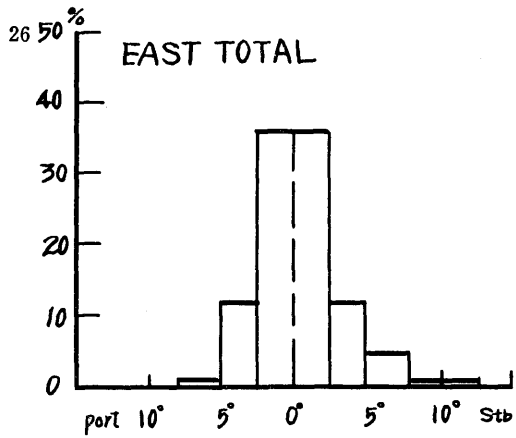


Fig 2-22 Histogram of the steering duration 18th East Bound Voyage

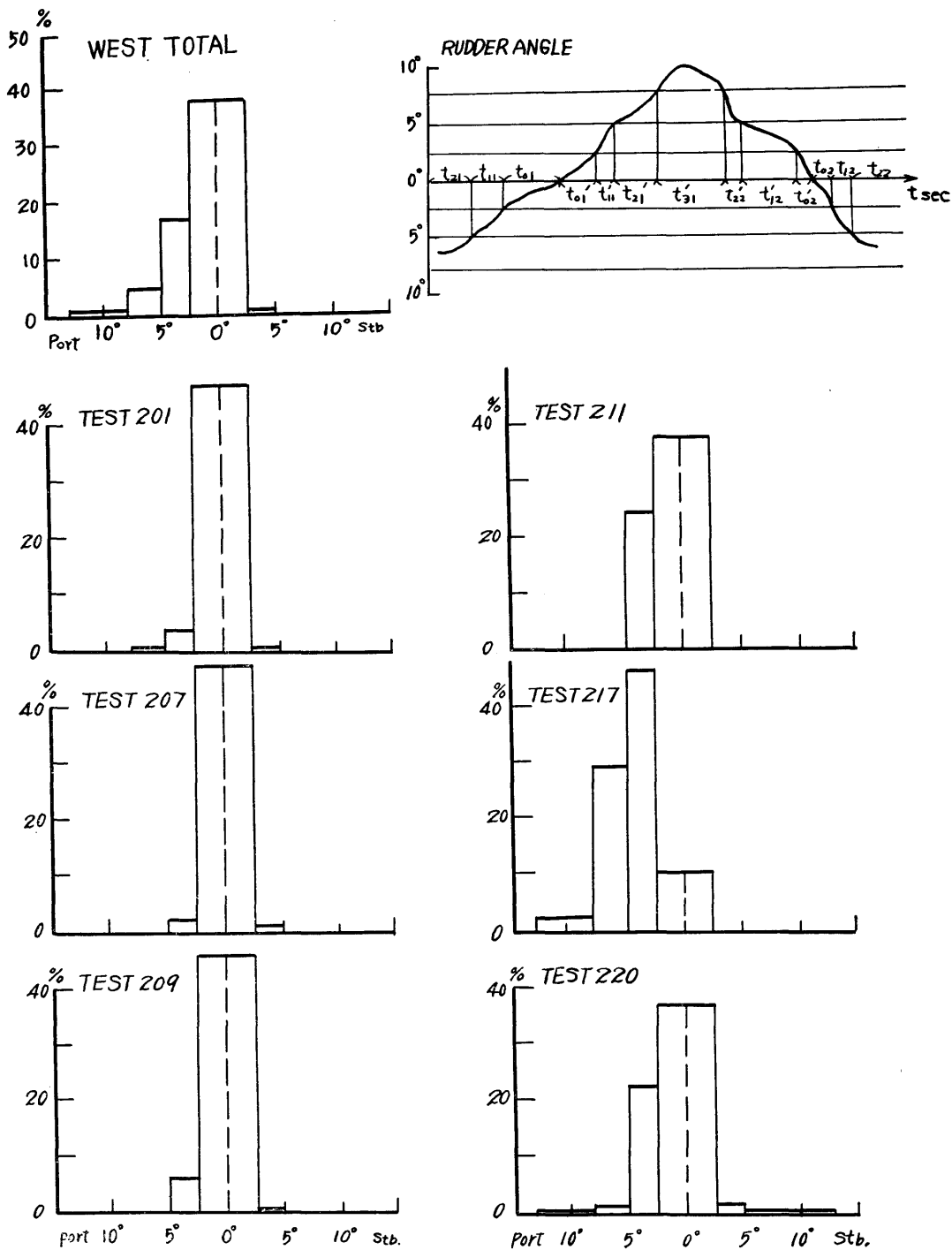


Fig 2 • 23 Histogram of the Steering duration : $\frac{\sum n t_{sn}}{\sum \sum t_{sn}}$ 18th West Bound Voyage

まつた解析法もなく、現在いろいろと検討中という段階にあるので、断片的になるが、ここに解析結果の一部を例として説明する。

i) 縦応力では、10~20分という短時間における短期分布は Rayleigh 分布を示すと云われている¹¹⁾。横応力についてもこの様なことが考えられるので、同様な手法によつて、波高がかなり高い場合の TEST NO

213について横応力分布とそれに Rayleigh 分布をあてはめてみたものを示したものが Fig 2・30である。

この結果は他の2, 3の例と同じく極めてよく一致していると云える。

ii) 最大横応力変動量を Table 2・7 に示す。それによれば TEST NO 219 では 2,560kg/mm² であり、この値は縦応力と比較して無視され得る応力変動量と

Table 2・6 Classification of operating conditions and weighting factors.

B SHIP SPEED (Knot)		C HEADING ANGLE (*)		A WAVE HEIGHT (m)				
CLASS	RANGE	CLASS	RANGE	CLASS 1	2	3	4	5
				0~1.5M	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~
1	0 < ≤ 5	1 2 3 4 5	H. BOW BEAM Q. F.					
2	5 < ≤ 10	1 2 3 4 5	H. BOW BEAM Q. F.					(1)0.05
3	10 < ≤ 15	1 2 3 4 5	H. BOW BEAM Q. F.					(3)0.15 (1)0.05
4	15 < ≤ 20	1 2 3 4 5	H. BOW BEAM Q. F.	(1)0.05 (2)0.10 (4)0.20	(1)0.05 (1)0.05	(2)0.10 (1)0.05	(1)0.05	(1)0.05
5	20 <	1 2 3 4 5	H. BOW BEAM Q. F.					
				(7)0.35	(3)0.15	(3)0.15	(2)0.10	(5)0.25
				(20) 1.00				

※ H.=HEAD SEA
BOW=BOW SEA

BEAM=BEAM SEA
Q.=QUARTORING SEA

F.=EOLLOWING SEA

は云えない。

iii) 概略的に云つて測定部に近い舷側の水位と横応

力の変動波形は、位相差があるが、よく似ているように思われる。

Table 2・7

TEST NO		113	114	115	205	206	207	208
横応力の変動量	kg/mm ²	1.290	1.525	1.174	0.582	0.511	0.660	0.830
波	高	m	3.0	3.1	2.5	2.2	3.5	2.9
TEST NO		209	213	214	215	216	219	220
横応力の変動量	kg/mm ²	0.737	2.206	2.030	1.536	1.836	2.560	1.497
波	高	m	1.5	8.9	7.8	6.4	6.2	8.5

2・4・3 打込海水の最大圧力

甲板上に打込む青波による衝撃水圧を計測するため最高水圧計を前述の上甲板前部に取りつけた。この計器は何回か受けた水圧中の最高水圧値が測定されるようになってい

今回、往路では青波をうける機会が殆んどなく測定

する変化量はみられなかつた。

復航においては荒天が続き、多少は圧力計に変化が見られた。この内で最高水圧は 0.3kg/cm² であつた。打込み海水は従来の実験においても遭遇頻度は極くすくないが、今回の最高水圧は、従来の少ない資料に比べても、かなり小さい値である。

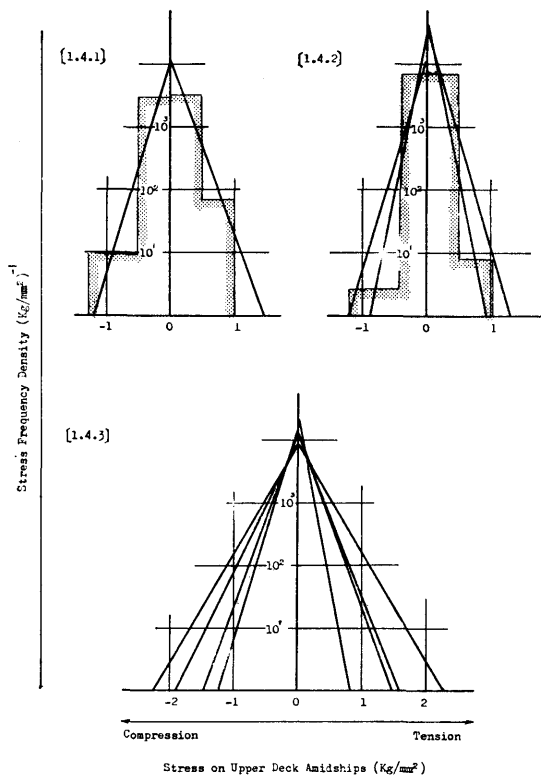


Fig 2・24

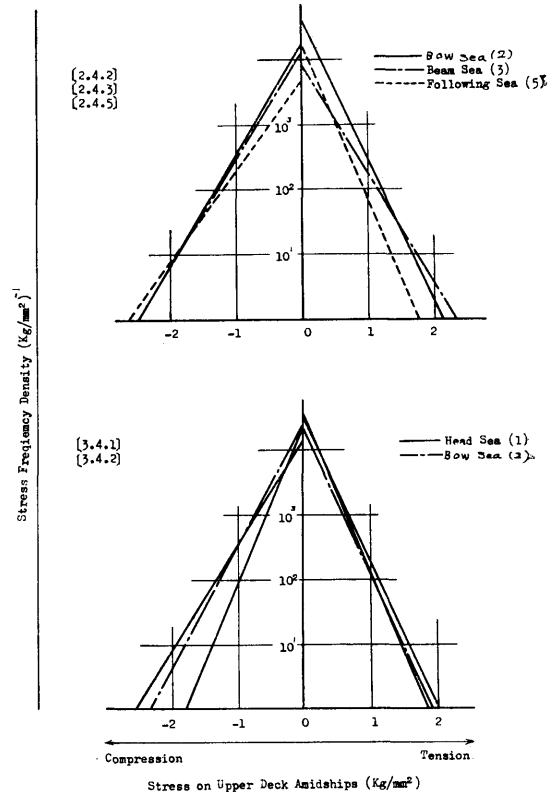


Fig 2・25

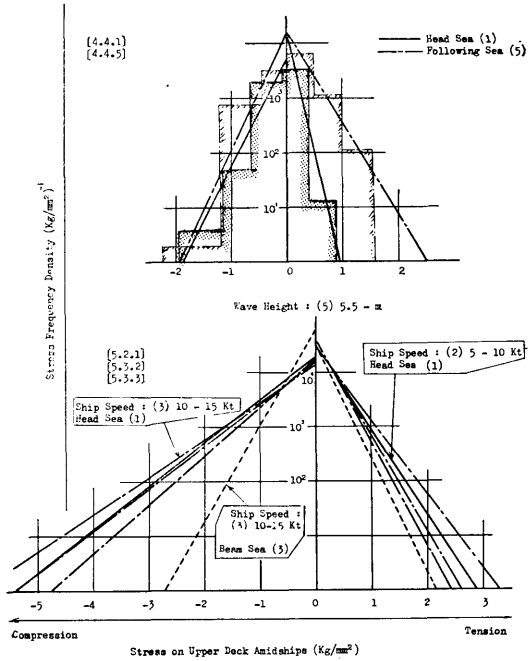


Fig 2.26

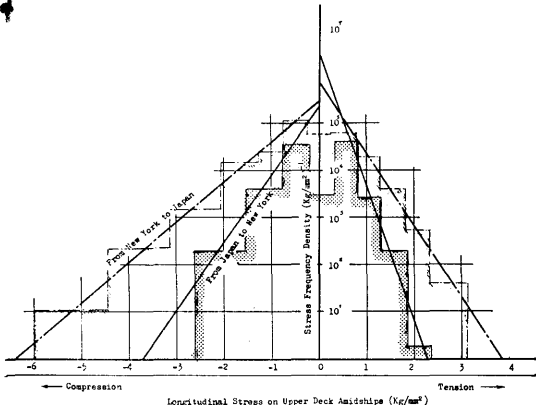


Fig 2.27

2.5 不規則振動の統計的解析

船舶の耐航性に関して、最近では実船試験はもとより模型試験においても、不規則波中のいわゆる不規則振動を解析する機会が多くなって来た。こうした解析には統計論的手法が必要である。この手法の解析を行うことにより、航行中の動揺やその他の変動するものの性質と、更にはその変動を起させる強制外力などの性質もある程度説明することが出来ると思われる。

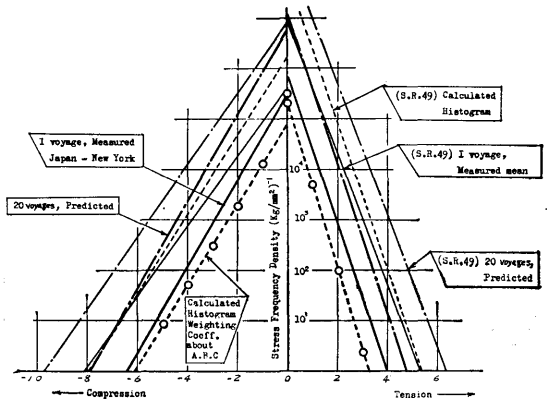


Fig 2.28

- Head Sea
- Bow Sea
- Beam Sea
- Quartering Sea
- Following Sea

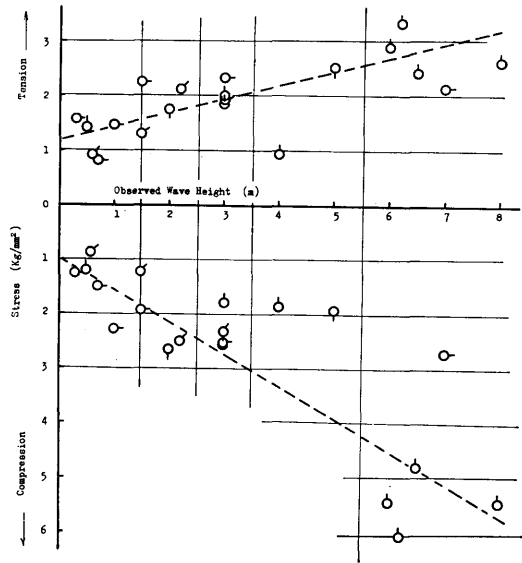


Fig 2.29

今回の実験の一つの重点として、この様な解析に、最新のデータ処理技術を導入し、合理的な一貫したデータ処理システムを完成させるために、本試験の結果を解析するに当り、デジタイザーや電子計算機 NEAC 2203 G などを使用して不規則振動の統計的解析における処理に要する時間の飛躍的な進歩を計った。

以下、今回用いられた計測、記録、解析のシステ

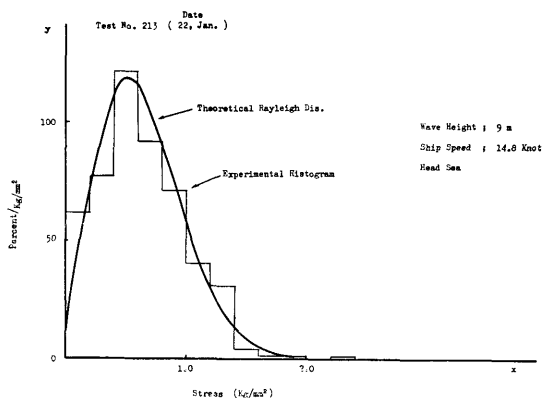


Fig 2.30

ム、計算法、計算結果、その他これらの解析を補うヒストグラムなどについて述べる。

2.5.1 使用された計測、記録、解析システムについて

従来の Manual なデーター処理システムと今回用いた新しい処理システムとのブロックダイアグラムを Fig 2.31 に示す。この図を見ると分かるように、従来のシステムでは、計測量を一旦オシログラフ紙等の記録紙に連続的な曲線の形で記録し、それを必要な時間間隔でスケールによつて数値として読取り、これを処理する。或は必要ならば穿孔するといったような手続によつていた。これには莫大な時間が必要であるが、時間的問題をたとえ除外しても人間による誤差は

避けられなかつた。そこで、近年運動性能部において整備、開発を進めているデーター処理技術を導入し、始めて合理的な一貫したデーター処理システムをまとめて使用した。

新しい処理システムは、先づデジタイザー(付録C)によつて計測器の出力である電氣的アナログ量を直接数値化し、その値を同時に時々刻々と穿孔テープに記録させる。実験と同時に穿孔テープに所要のサンプリング時間毎のデジタル読取り値が記録されることになる。このテープを持帰つて直接電子計算機にかけ必要な計算を行う。このような方法によつて飛躍的に時間や精度の向上がなされた。

優れた計算能力を持つ電子計算機により不規則な変動量を統計的に解析することによつて極めて短時間の処理が可能である。

計算機による計算のために新たに次に述べるようなプログラムを開発作成した。このプログラムは現在の統計論的解析法として考へる殆んどすべての要因¹⁶⁾を可変にすることが出来るほぼ完全なものといつてよいと信じている。

Fig 2.32 は、その解析法のプログラムのフローチャートを示したものである。

これはコレログラムの計算、スペクトラムの計算、ウィンドウを掛ける演算の3段階に分かれている。また、この特徴としては次の諸点が挙げられる。

- 1) 電子計算機の優れた計算能力によりサンプリングの数Nおよびラグの数mを飛躍的に増大することが

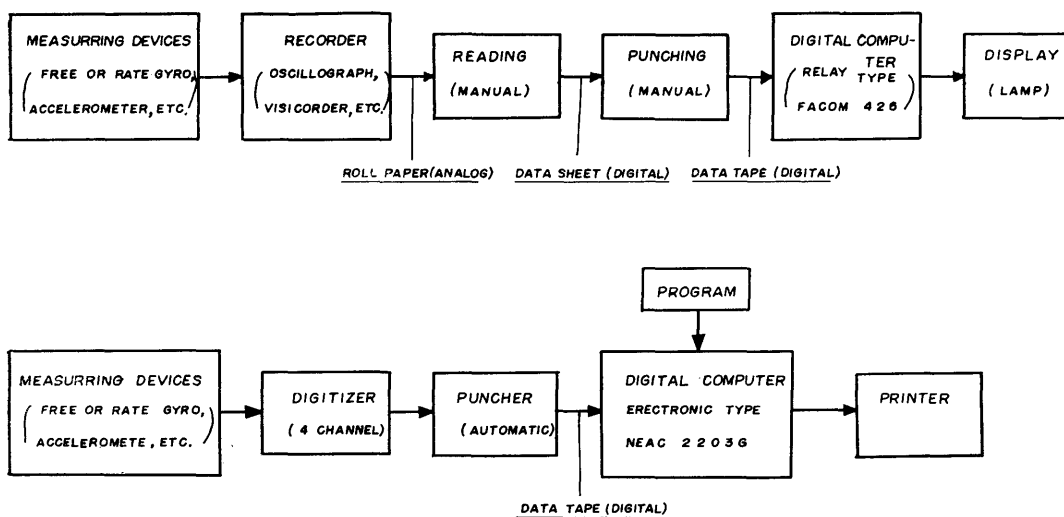


Fig 2.31 BLOCK DIAGRAM of the statistical analysis

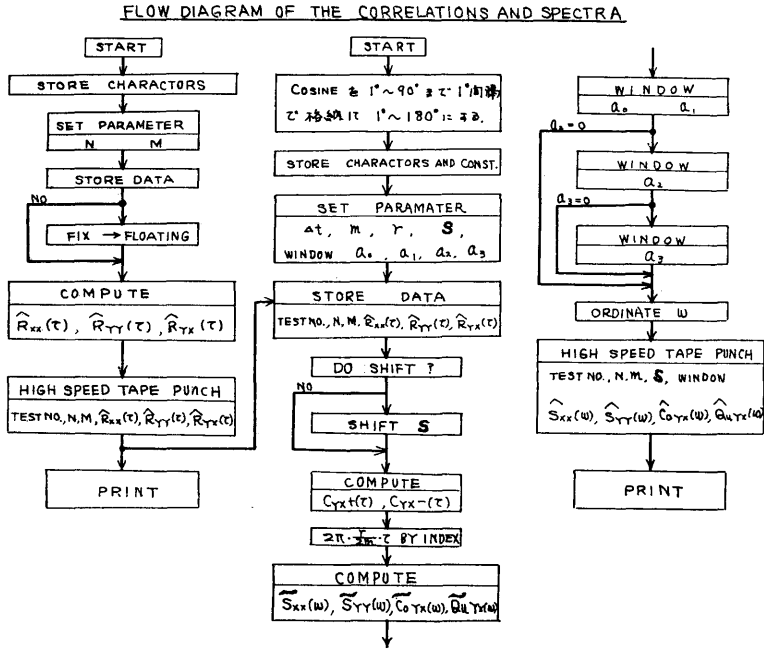


Fig 2 · 32

できた。その上N, mを自由に選択が可能である。

2) スペクトラムウィンドウの係数 a_n が4つまでならば自由な種類のウィンドウを用いることが出来る。

3) 統計論的な検定も行えるようにしたりして、プログラムには弾力性のある幅広い解析が可能になった

2.5.2 コレログラム, スペクトラムの解析法¹³⁾

不規則振動の記録が $\{X(n\Delta t); n=1, 2, 3, \dots, N\}$ と与えられたときに $\hat{R}_{xx}(\tau)$ を次式によつて定義する。

$$\hat{R}_{xx}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{n=1}^{N-\tau} \{X(n+\tau) - \sum_{\tau+1}^N X(n)\} \{X(n) - \sum_{n=1}^{N-\tau} X(n)\} \quad \tau=0, 1, 2, \dots, N$$

この $\hat{R}_{xx}(\tau)$ のことを Sample Auto Correlation Function と呼び、グラフをコレログラムと云う。

このコレログラムは、もとの振動、即ち、計測した記録に含まれる各周波数成分と同一の周波数成分を持ち、もとの成分のパワーに等しい振幅を持った余弦波の合成されたものである。また、原波形中で優勢であった周波数成分が一段と強調される(振幅の二乗の形)

ことにより原波形の周波数成分の構成を見易いものとしている。このコレログラムより既に知られている特性で補い、コレログラムを満足する定差方程式を解いて応答¹³⁾を求めることも出来る。

このコレログラムは、各周波数成分毎に分解するためには、次のパワースペクトラムに変換するのが具合がよい。

$\hat{R}_{xx}(\tau)$ が求めれば、次式によつてスペクトラム $\hat{S}_{xx}(\omega)$, $\tilde{S}_{xx}(\omega)$ が定義される。

$$\hat{S}_{xx}(\omega) = \hat{S}_{xx}\left(\frac{r}{m} \cdot \frac{2\pi}{2\Delta t}\right) = \frac{k}{n-k} a_n \tilde{S}_{xx} \left(\frac{r-n}{m} \cdot \frac{2\pi}{2\Delta t}\right) \quad r=0, 1, 2, \dots, m \quad k=1, 2, \dots, a_n$$

$$\tilde{S}_{xx}\left(\frac{r}{m} \cdot \frac{2\pi}{2\Delta t}\right) = \frac{\Delta\tau}{2\pi} \left\{ \hat{R}_{xx}(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} \hat{R}_{xx}(\tau) \cdot \cos\left(2\pi \frac{r}{2m} \tau\right) + (-1)^r \hat{R}_{xx}(m) \right\}$$

この $\hat{S}_{xx}(\omega)$ のことを Sample Auto Spectrum と云う。

これは前述のコレログラムを各周波数成分毎に分解

してしまつたもので、原波形の特徴が捉え易いということ、いろいろの波形の生成機構と対応させて考えることができるという利点がある。

このままのスペクトラムでは、有限な長さの記録により有限なコレログラムを求めその変換を行うため不必要な変形をうけることになる。その変形による効果を少なくし、信頼度の点でもよい結果を得るため一つの平均法とも云える手法を用いて精度良い推定値を得るためにウィンドウなるものをスペクトラムに乗じる必要がある。¹⁵⁾

次表は、現在の段階では最も進んだウィンドウをよく用いられる Hamming, Hanning のウィンドウと比較したものである。

今回の解析には、今迄の経験から云つて推定精度が一番よいと思われている W_2 を使用した。¹⁶⁾

Table 2-8 Spectral window Coeff. An

	a_0	$a_1=a_{-1}$	$a_2=a_{-2}$	$a_3=a_{-3}$
Hamming	0.54	0.23		
Hanning	0.50	0.25		
W_1	0.5132	0.2434		
W_2	0.6398	0.2401	-0.0600	
W_3	0.7029	0.2228	-0.0891	0.0149

2-5-3 周期ヒストグラム

前節において述べたパワースペクトラムの解析を行う場合にデータが既に穿孔テープにおさめられていない場合には、先にも述べたように莫大な時間と労力が必要になるので、そのような場合には、スペクトラムには及ばないが、簡略な解析方法として周期のヒストグラムを求めてみた。

このヒストグラムは、振幅を完全に無視し、長周期の変動をも余り考慮しないし、また見掛けの周期であつて必ずしも成分波の周期を完全には示さないから、勿論完全なスペクトラムには劣つている。しかし、原波形中に含まれる周波数の構成の大略や各計測項目間の関連性を知る手段としては、簡単で有用な資料であると思われる。

Fig 2-33-1 から Fig 2-33-8 は、本航海中で海象が荒れていると思われる復航の TEST NO 211~220 までのもので計測を行つたほとんど総ての項目について求めた周期のヒストグラムである。

また、本船が往路、復路において遭遇した波の出会い周期について求めたのが Fig 2-34 である。

推進軸トルクは、推進軸回転数と変動が非常によく一致しているので省略した。

上下加速度は縦揺れの変動とまったく一致しているので、舷側水位を測定した時はその解析を省略した。

図中の出会い周期のヒストグラムに矢印が記入されているが、これは目視観測で得たうねり、風浪の周期から略算した値である。

横揺れの周期とヒストグラムに記入されている矢印は次節の精密なパワースペクトラム解析によつて得られた卓越した成分の周期の値を示す。

求めた周期ヒストグラムから次のような諸点が導かれる。

1) 縦揺れの周期分布は大略出会い周期の分布によく一致している。特に縦揺れの分布が狭くて顕著な場合には、一層分布が一致する。これは縦揺れは自由動揺の減衰が大きく、外力の影響を受けやすいので、縦揺れは強制外力である波の分布に似た分布の場合が多いと考えられる。即ち、縦揺れのパワースペクトラムの形は、大略波のスペクトラム分布を表わしているものと思われる。従つて、縦揺れスペクトラムに明瞭に現われた山から、波の出会い周期を知ることが可能であろうし、波の大体の不規則性を知るには縦揺れのスペクトラムの分布状態で判断されると思われる。その非常によい例として TEST NO 220 が挙げられる。

2) 出会い周期の計測値と波の周期の観測値との関係は、古典的な規則波の関係から次式で与えられる。

$$T_e = \lambda / (V_w - V_s \cos \alpha) = \frac{g T_w^2 / 2\pi}{g T_w^2 / 2\pi - V_s \cos \alpha}$$

ただし T_e : 出会い周期
 T_w : 波の周期
 V_s : 船の速度
 V_w : 波の速度
 α : 波が船に出会角
 λ : 波長

この式より、観測した波と船速を用いて出会い周期を求めて、図中に示してあるが、Swell に関する限りでは、ほぼよい値になつているが、これは規則波に対する理論式にて求めたものであり、先に述べた様に波長 $\lambda = K \cdot g / 2\pi \cdot T_w^2$ であるので、うねりでは妥当なところに来るが、風浪では相当異つて来るであろう。

3) 操舵周期のヒストグラム中に、頻度数にすれば僅かではあるが、横揺れのヒストグラムの山の周期のところで操舵されていることが見受けられる場合がある。これは大洋を航行中の船舶が自動操縦装置によつ

て操舵されていると、船体の横揺れ固有周期でもつて数度の振幅で正弦的に操舵すると云われていることに一致する。

4) 全般的にいつて、出会周期、操舵周期、船首振り周期、上下加速度周期、縦揺れ周期は共に密接な関連性があるとい得る。

5) 横揺れの周期は各計測項目とは関連性が見受けられないが、それは次節で述べる様に、常に横揺れ固有周期付近に周期が多く分布しているからである。

図中にはパワースペクトラムの卓越した山の周期を矢印で示しておいたが、これは非常によい一致を示している。

6) 横応力と舷側水位との変動周期分布は、前述の手法によるヒストグラムでは密接な関連性が認められる。

7) 推進軸の回転数変動の周期分布は、その時によつて出会周期、舷側水位などと分布が似ているが、どの項目と関連性があるかはこれだけからは云えない。

8) 往復航の出会周期の分布は、往路でも復路でも余り相違がなかつた。

2・5・4 コレログラム、スペクトラムの考察

1) 横揺れについて

一般に横揺れは減衰の極めて少ない運動であるので、そのコレログラムも収束の極めて遅いものである。

そこで読取り時間間隔、最大ラグ数、ウィンドウ等の選定が問題になる。今回は読取り時間間隔を 1.0, 1.125, 1.50 秒の三種類にしたが、ラグの方を変化させて60と90にしてコレログラム一本の長さを90秒以上にした。これは横揺れ固有周期にして7周期以上になるので、かなり減衰する所まで求めることになる。

スペクトラムを求めた結果からスペクトラムのピークの帯域幅等を考えると横揺れに関しては、このサンプル時間間隔、最大ラグ数はほぼよい値であつたようである¹⁶⁾。

横揺れパワースペクトラムは大略同一周波数付近に卓越した山を持ち、その裾の広がりはかなり狭い。

一番卓越した山の周波数を書き出して見ると、下記の表のようになる。

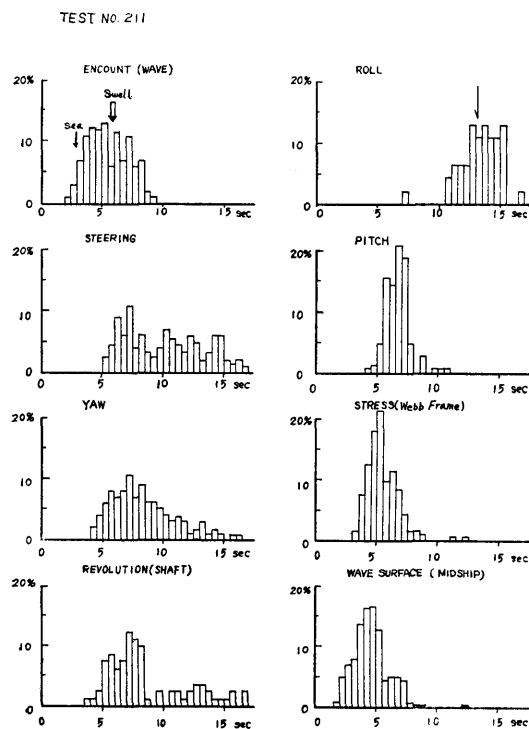


Fig 2・33・1 Histogram of TEST NO 211

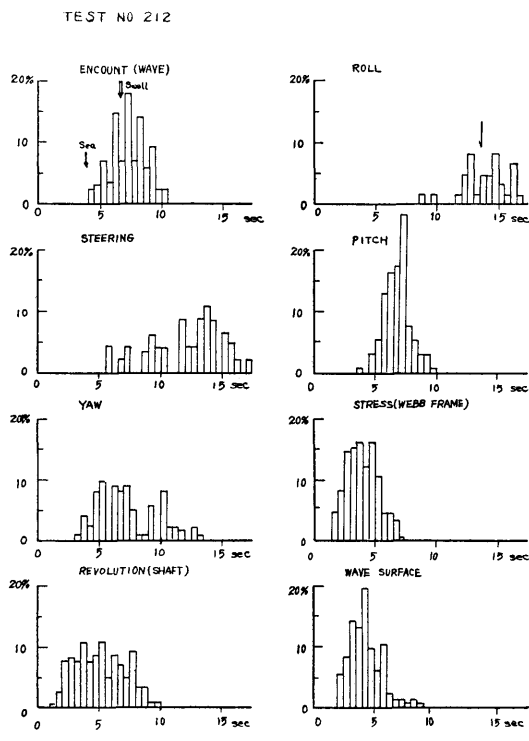


Fig 2・33・2 Histogram of TEST NO 212

TEST NO	204	205	206	207	208	209	211	212
ω	.48	.48	.50	.48	.48	.48	.46	.47
TEST NO	213	214	215	216	217	218	219	220
ω	.46	.48	.50	.48	.44	.47	.48	.47

この表によれば、 $\omega=0.48$ を中心とし、 $\omega_{max}=0.50$ $\omega_{min}=0.44$ であるが、最小値一つだけが特に異つているので、これを除外すると、卓越した山の周波数は $\omega=0.46\sim 0.50$ の間になつてしまう。この平均値は、周期にして13.15秒となり、TEST NO 204~220の状態では、この付近に、この船の固有周期があつたことが明らかである。

試験によつては、この値が少しづつ異なる場合があるが、その理由として船の状態変化、大角度の動揺と外力である波のスペクトラムの相違からであるが、その影響は前記のように少いものであることがわかる。

一般に横揺れの場合には、減衰が小さいため、その周波数応答曲線が固有周波数において極めて鋭い山を有しているため、外力である波のスペクトラムが多少

異つても横揺れのスペクトラムは、その殆んどが総て固有周期に極めて近いところに卓越した山を有する。

従つて、山隆丸の復航時における横揺れ固有周期は平均値の13.15秒と考えるのが最も妥当と思われる。

一方往路の場合は、全般的に動揺が少なかったので、余り解析を行なわなかつたが、TEST NO 103では $\omega=0.57$ 、No. 104では $\omega=0.59$ 、No. 105では $\omega=0.59$ 、No. 113では $\omega=0.56$ 等に卓越した山が現われているので、平均値の $\omega=0.58$ 、即ち10.8秒が往路の横揺れ固有周期と考えられる。

TEST NO 217はコレログラムに高周波の雑音が入つて他の場合とはまったく異つている。

2) 縦揺れについて

縦揺れのコレログラムは収束が早いので固有周期は横揺れより小さいので、余りラグ数は心配を必要としない。

縦揺れのスペクトラムと波の観測資料とを対照することにより、船体運動の性質及び強制外力である大洋波の性質についてある程度推定することが出来る。

例えば、TEST NO 211について考えてみる。船は

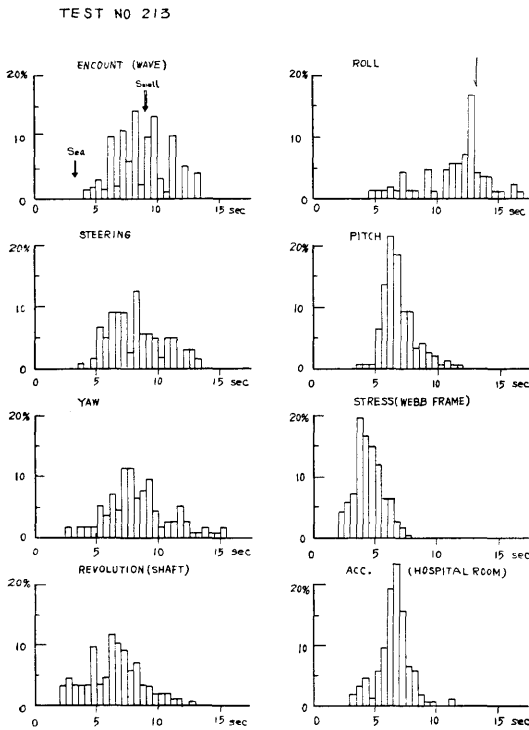


Fig 2・33・3 Histogram of TEST NO 213

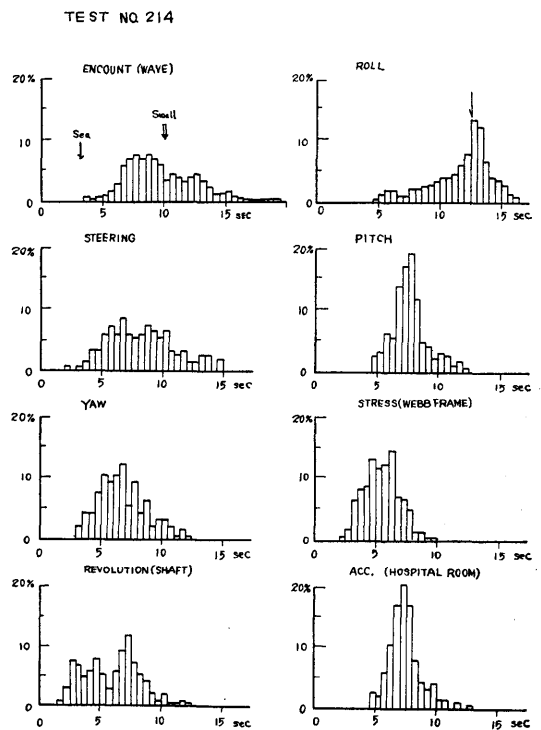


Fig 2・33・4 Histogram of TEST NO 214

真向いよりうねり（波長100m, 周期 9.3 秒, 波高1.5 m）と風浪（波長35m, 周期5.6秒, 波高1.5m）とに遭遇している。この波の周期を船速（船底圧ログと観測による波との出会う角度を用いて、前述の出会い周期を求める式に入れると、うねりは5.86秒, 風浪は2.76秒となるが、これには速度、角度に誤差が入るのみでなく、波長にも先に述べたような古典的關係にある修正が必要であるから一つの概算値に過ぎない。

波長は船長に対して、うねりが $0.69 L_{pp}$ で、風浪は $0.24 L_{pp}$ となっている。

一方復路のように向い斜め波中の縦揺れの応答を考えると、波長が $0.4 L_{pp}$ 以下の波に対しては、船は殆んど応答を示さないで、波長が58m以下の波に対しては縦揺れの結果から強制外力である波の性質を知る事はかなり困難になる。しかし、普通これ以下の波は波高も低いので余り問題にならない。反対に波長が船長の2倍以上になると縦揺れの応答はほぼ1になり完全な波浪計となつて波浪の性質そのものを示すと云つてよい。

上記の値は波の観測の平均値から求めた出会い周期で

あるが、これを出会周期のヒストグラムFig 2・33・1によつて見ると周期分布の範囲は3.5~8.5秒と相当幅広いが、この範囲で80%を占めている。この値は船速とか波との出合角による誤差は全く入っていないので、そのまま信頼して差支えない。

そこで、縦揺れのスペクトラムを見ると、出会い周期の範囲内に8.05, 7.15, 6.28秒にそれぞれ卓越した山があり、5.50秒に小さな山が現われている。この間に幅の広い不規則的な変動が存在していると思える。

出会い周期の分布中でこの船が向い波に対する5秒以下のものは、上記の波長の点から云つて縦揺れには殆んど寄与しないのでスペクトラムにも殆んど現われていないが、それ以上の波に対しては、縦揺れのスペクトラムはほぼ波のスペクトラムに似ているのではないかと云える。この様に幅の広い範囲に波が分布しているものに属する例は、TEST NO 211の外にTEST NO 204, 205, 209, 218等がある。

つぎに割合に不規則ではあるが、上記のように幅狭くない場合の例として TEST NO 216 についてみると、出会い周期ヒストグラム Fig 2・33・6 には 8.0~

TEST NO 215

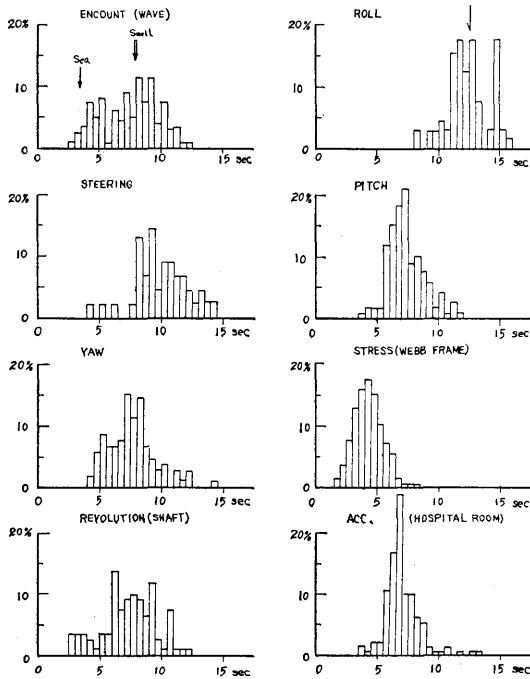


Fig 2・33・5 Histogram of TEST NO 215

TEST NO 216

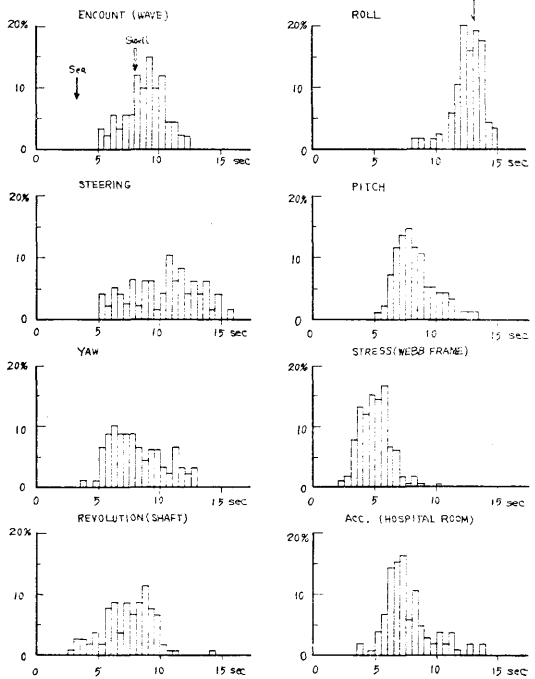


Fig 2・33・6 Histogram of TEST NO 216

10.5秒の間に優勢な山がある。これは真向いで TEST NO 211 より不規則の幅が狭いうねりが来ていると考えられる。これに対して縦揺れスペクトラムでも、まったく同じ範囲の8.0~10.5秒に卓越した山が現われている。この様に出会周期のヒストグラムの分布が5秒以上で、分布の幅があまり広くない場合は、そのまま縦揺れスペクトラムは波のスペクトラムに似た形で現われていることが分る。

この例の外に TEST NO 106, 113, 206, 207, 208, 212, 213, 214, 215 が TEST NO 216 に似た分布を示している。

また、波が更に規則性に富んでいるうねりに遭遇した場合として、TEST NO 219 の様なものがある。Fig 2・33・7 に示す出会周期のヒストグラムには6.5~8.0秒の範囲に顕著な山が現われている。この波は船首より右10°方向からのうねりに遭遇した場合のものである。この時、縦揺れのスペクトラムは7.7秒に非常に顕著な山が現われている。

これらは何れも出会周期と縦揺れスペクトラムの関連性を示したものである。しかし、両者の関連性が一

見付かないものとして TEST NO 103, 104, 105, 115, 217がこれである。

TEST NO 217 は波との出会周期のヒストグラムでは6.0~9.0秒に現われているのに、縦揺れのスペクトラムでは12.6秒に卓越した山が現われている。この場合、横揺れのスペクトラムを見ると11.9秒に顕著な山が現われていることから考えると、やはりこのときの出会周期がこの付近にあつたのではないかと想像される。そこで横揺れと縦揺れの一種の Coupling を起している様にも思われる。普通 Coupling は極めて小さいが、TEST NO 103, NO 104, NO 105, NO 115, NO 206, NO 212, NO 213 などにも僅かにこの現象が現われていることが分る。

TEST NO 103, 104, 105 では、それ以外にも非常に卓越した山を有する場合がある。これらは総て追波中であつたので、波との出会周期が約20秒というように普通の出会周期の約3倍という長い周期であつたのと同時に波高が比較的低かつた為に、他の波に幻惑されて見落したのではあるまいか。しかし、測定されたにしてもヒストグラムにすると周期の大きいものは頻

TEST NO 219

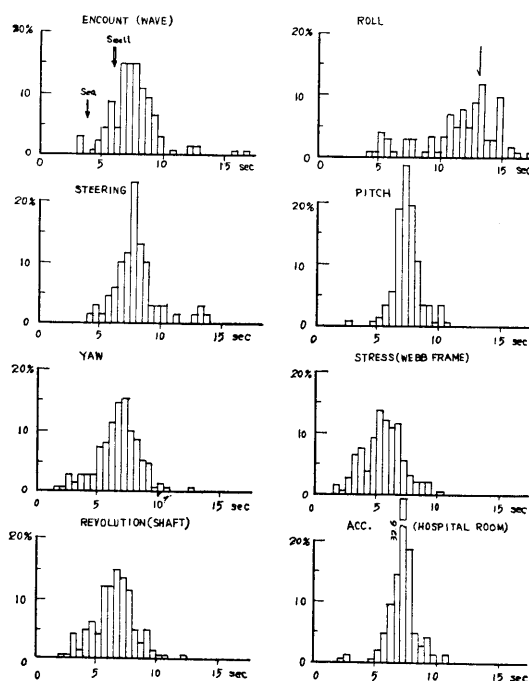


Fig 2・33・7 Histogram of TEST NO 219

TEST NO 220

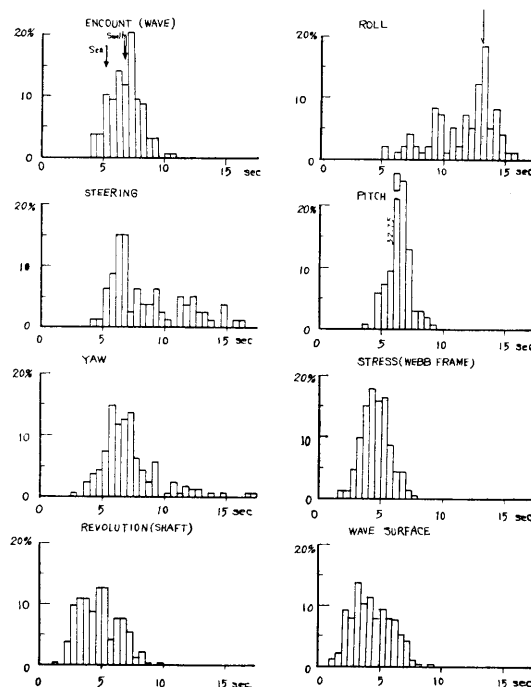


Fig 2・33・8 Histogram of TEST NO 220

度数が少なくなり、グラフの上で占める割合は少なくなつて来る。これは周期のヒストグラムの大きな制約である。

以上で縦揺れスペクトラムについて述べて来たが、上記の如く縦揺れスペクトラムに明瞭に現われている山は波との出会周期にも卓越して現われているといつたように両者は非常によく一致している。

結局、波浪中における縦揺れの周波数応答曲線が割合平坦なため、縦揺れのスペクトラムは強制外力である波のスペクトラムにかなり忠実であると云えるので、縦揺れのスペクトラムの分布曲線の形から波のスペクトラム分布曲線をかなりよく推定することが出来るものと考えてよい。

そこで北太平洋における波浪について判断すると、狭い周波数の範囲に分布しているので、余り不規則的な海面状態ではなく、割合と規則性に富んだ海面状態であるといえよう。

縦揺れのスペクトラムより縦揺れの固有周期を求めることは今回の試験結果からでは困難である。略算式で推定して求めると約6~7秒となる。すると多くの

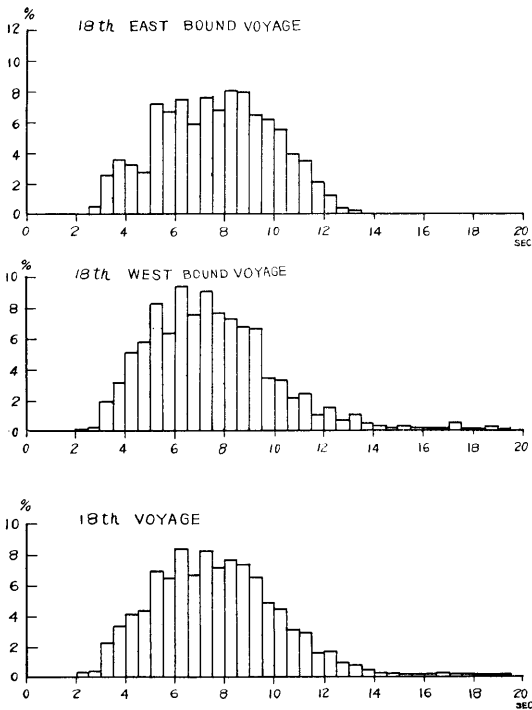


Fig 2・34 Histogram of encounter period

スペクトラム中に $\omega = 0.90$ 付近に山があるので、大凡7秒とも云つてよいのかも知れない。

3) 横応力について

横応力のスペクトラムは最も関連性がありそうに予想された舷側水位はもとより縦揺れ横揺れのスペクトラムとも見た所ではまったく云つてよい程関連性が薄く意外であつた。然しながら例えば横応力と舷側水位とは連続記録の上で見ると変動が極めてよく似ていると思われる。そこで比較的早い周期をもつので両者のサンプリング時間を更に短くさせ、その上で夫々の自己相関のみでなく相互相関等をも求めて更に検討を進めることなどを考えているこれらについては後日また報告することとする。

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	204
	DATA NUMBER	430
	LAGS NUMBER	60
	SAMPLING TIMES	1.50s

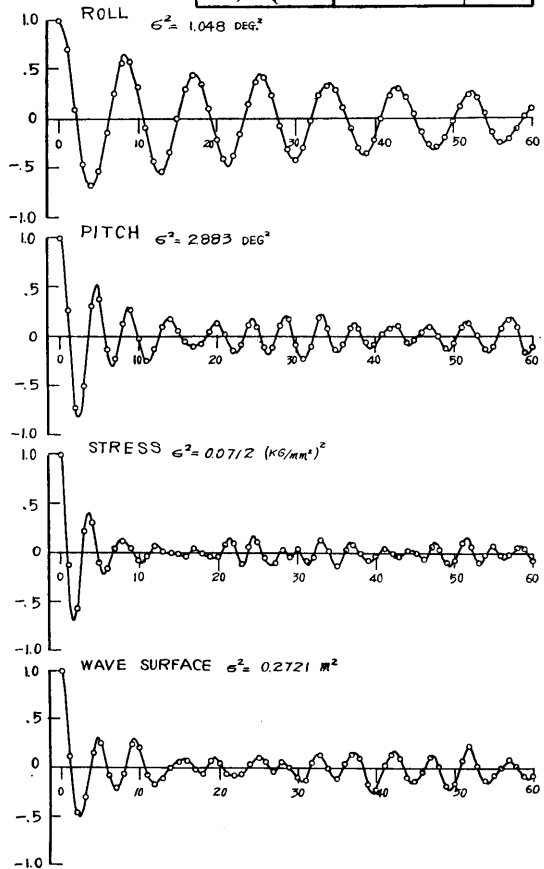


Fig 2・35・1 Correlograms of TEST NO 204

4) 舷側水位について

上記の通りに横応力と舷側水位とはスペクトラムの上では外見上関連性が深く現われなかつた。しかし、舷側水位のパワースペクトラムは横揺れと縦揺れのパワースペクトラムの積み重ねに非常に似ているのは当然の結果とも云えようが興味深い。

5) その他のスペクトラム解析

出会マークの記録を波の振幅をすべて±1と考えた記録であると考え、それによつてコレログラムを計算し、フーリエ変換してスペクトラムとすることが出来る。

それはスペクトラム密度であつて波の全エネルギー或は分散は不明であるが、スペクトラムの形として

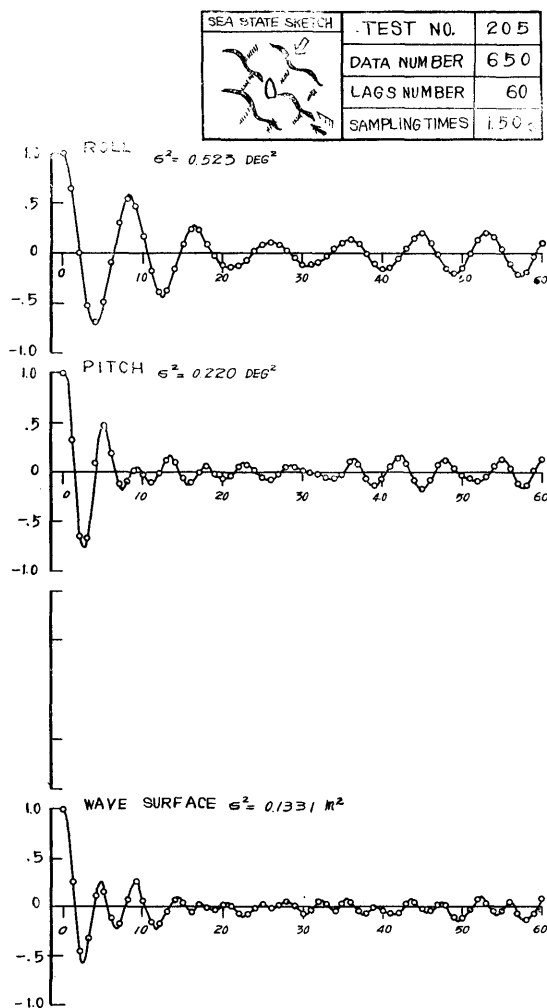


Fig 2・35・2 Correlograms of TEST NO 205

は、標本の数がある値以上であれば大略波のスペクトラムの形を近似していると云つてよい。今回はその例を示してないが、その様にして求めた結果は出会周期のヒストグラムにも似ているし、縦揺れのスペクトラムの形に非常に似たものとなり、先に述べた縦揺れのスペクトラムの性質を現わしているであろう。その他2, 3節において述べたような舵角, ヨーイング, トルクの同時記録から夫々のスペクトラムを求めて比較することによつて多くの興味ある結果が得られよう。

然し、今回の実験で使用したデジタイザーは4チャンネルであつたために、統計的解析は横揺れ, 縦揺れ, 横応力, 舷側水位を主としたので, その他の項目

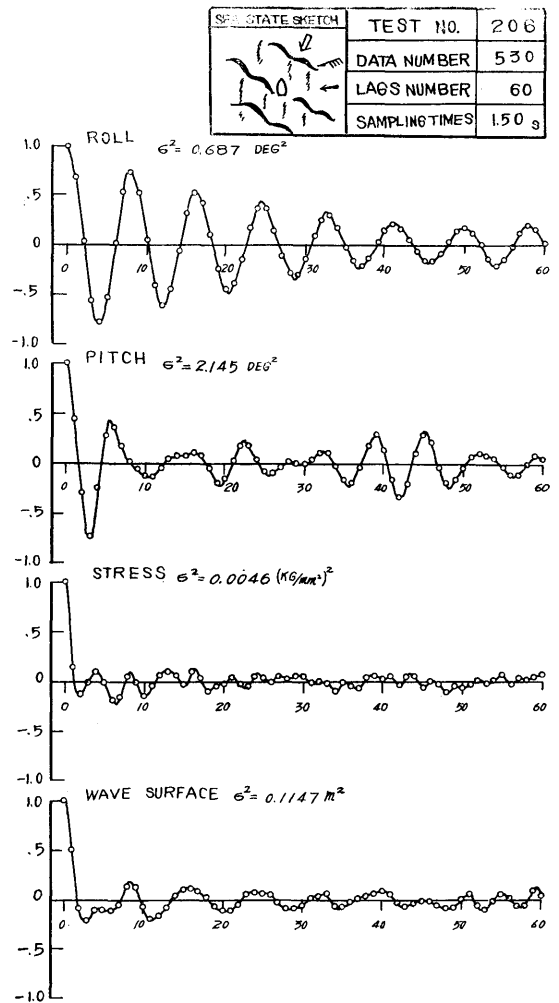


Fig 2・35・3 Correlograms of TEST NO 206

の記録には使用しなかつた。従つてデジタイザーを使用出来なかつた項目の解析には相当の日数を要することになるので、将来これらについて行うことを考えて

いる。

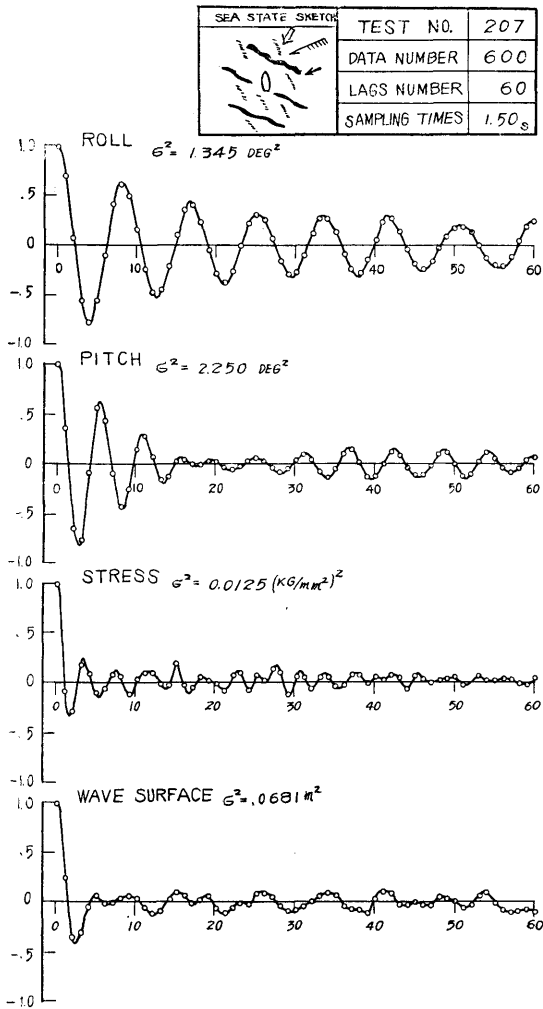


Fig 2 · 35 · 4 Correlograms of TEST NO 207

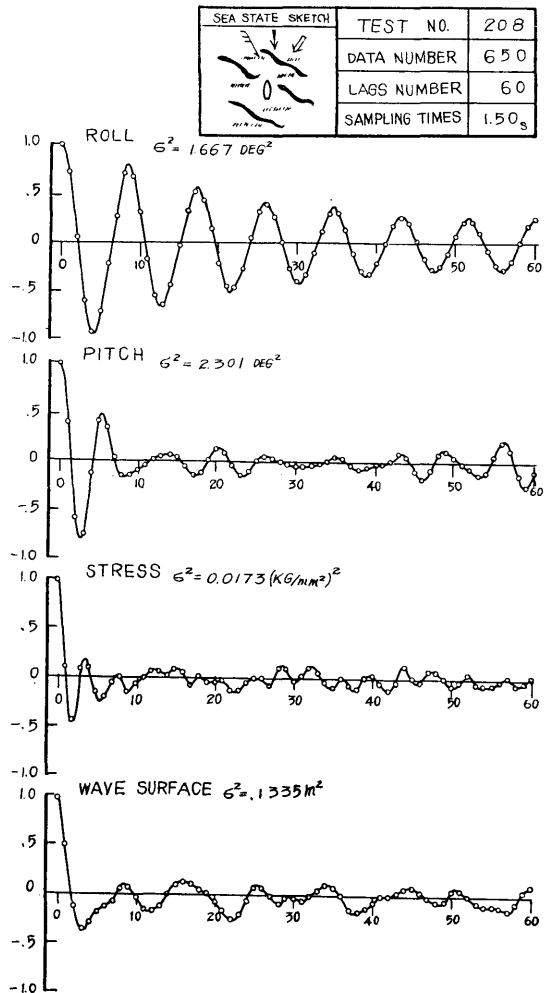


Fig 2 · 35 · 5 Correlograms of TEST NO 208

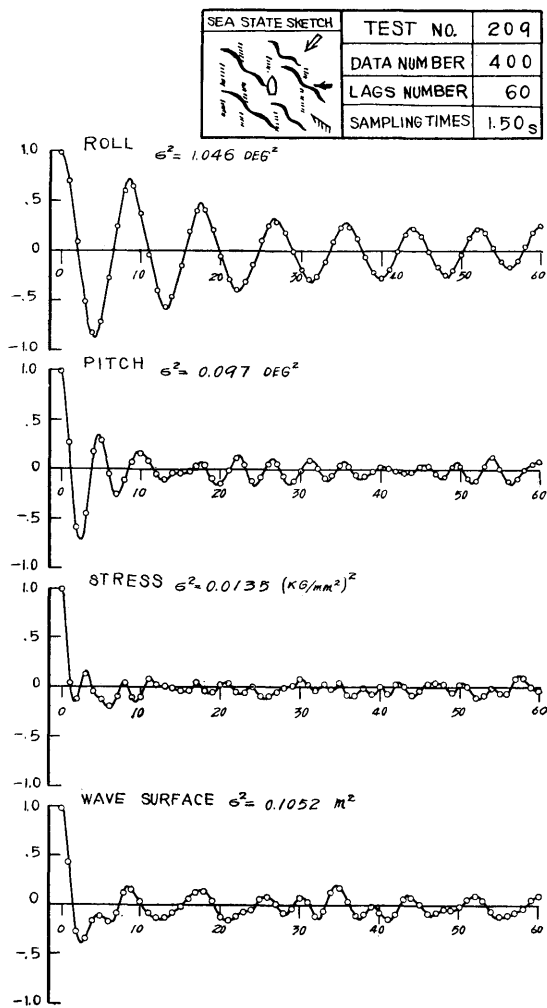


Fig 2 • 35 • 6 Correlograms of TEST NO 209

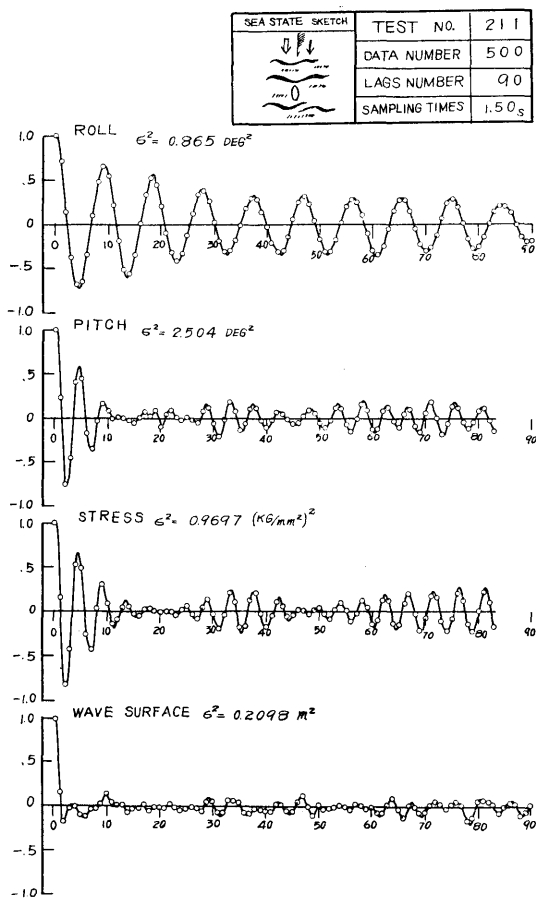



Fig 2 • 35 • 7 Correlograms of TEST NO 211

SEA STATE SKETCH	TEST NO.	212
	DATA NUMBER	750
	LAGS NUMBER	40
	SAMPLING TIMES	1.00 s

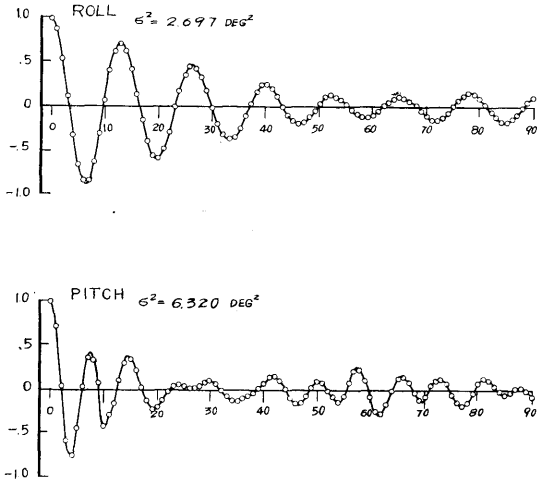



Fig 2 · 35 · 8 Correlograms of TEST NO 212

SEA SKETCH	TEST NO.	213
	DATA NUMBER	670
	LAGS NUMBER	40
	SAMPLING TIMES	1.00 s

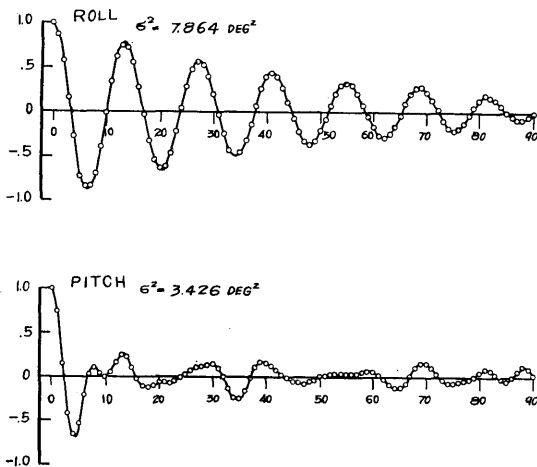



Fig 2 · 35 · 9 Correlograms of TEST NO 213

SEA STATE SKETCH	TEST NO.	214
	DATA NUMBER	950
	LAGS NUMBER	40
	SAMPLING TIMES	1.125 s

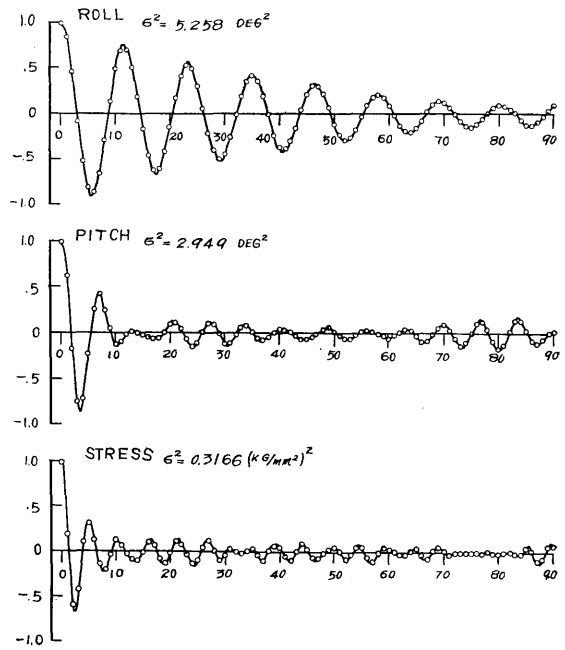


Fig 2 · 35 · 10 Correlograms of TEST NO 214

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	215
	DATA NUMBER	800
	LAGS NUMBER	90
	SAMPLING TIMES	1125 ₃

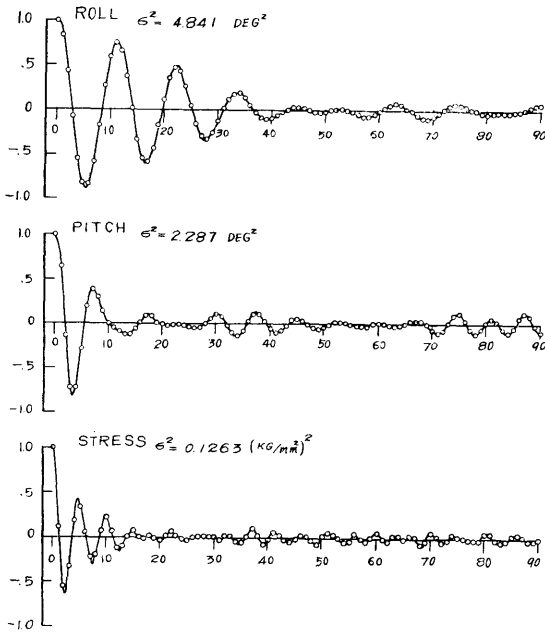


Fig 2 • 35 • 11 Correlograms of TEST NO 215

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	216
	DATA NUMBER	700
	LAGS NUMBER	90
	SAMPLING TIMES	1125 ₃

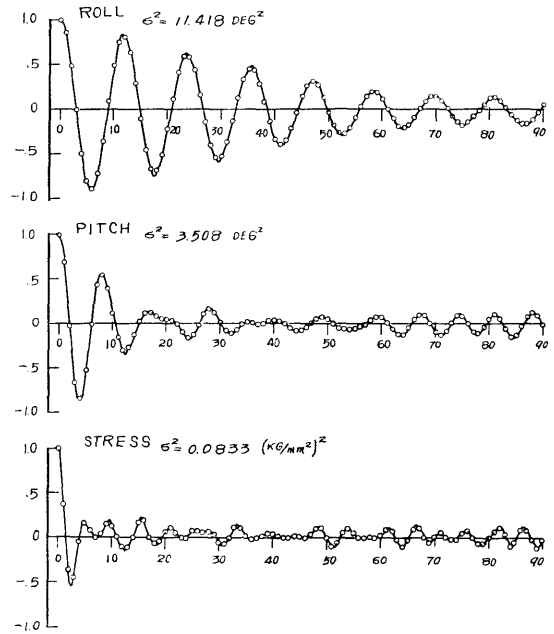



Fig 2 • 35 • 12 Correlograms of TEST NO 216

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	217
	DATA NUMBER	480
	LAGS NUMBER	90
	SAMPLING TIMES	1.125s

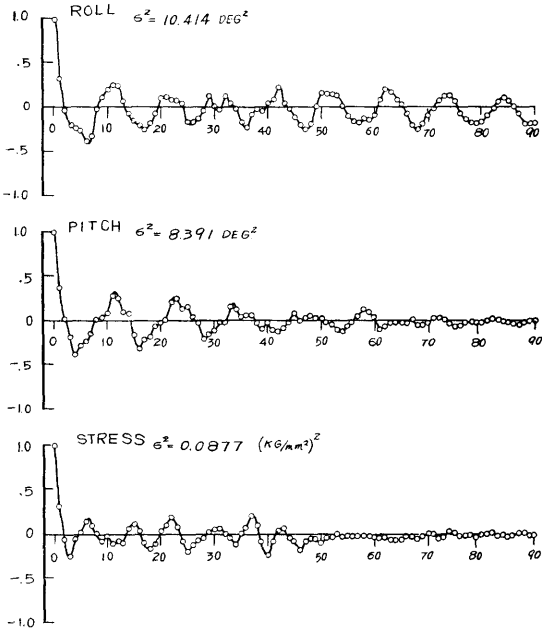



Fig 2 • 35 • 13 Correlograms of TEST NO 217

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	218
	DATA NUMBER	900
	LAGS NUMBER	90
	SAMPLING TIMES	1.125s

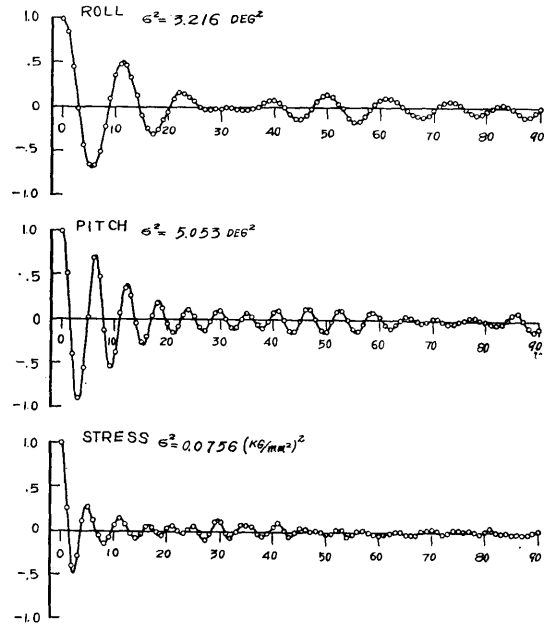


Fig 2 • 35 • 14 Correlograms of TEST NO 218

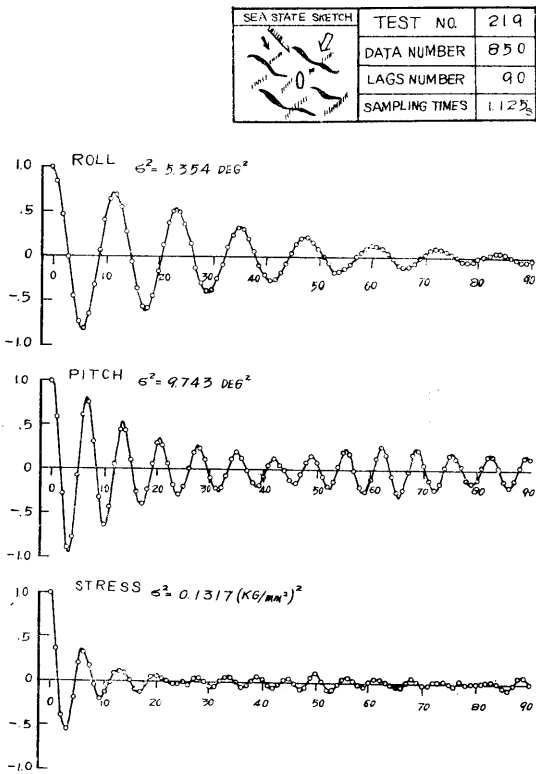


Fig 2 • 35 • 15 Correlograms of TEST NO 219

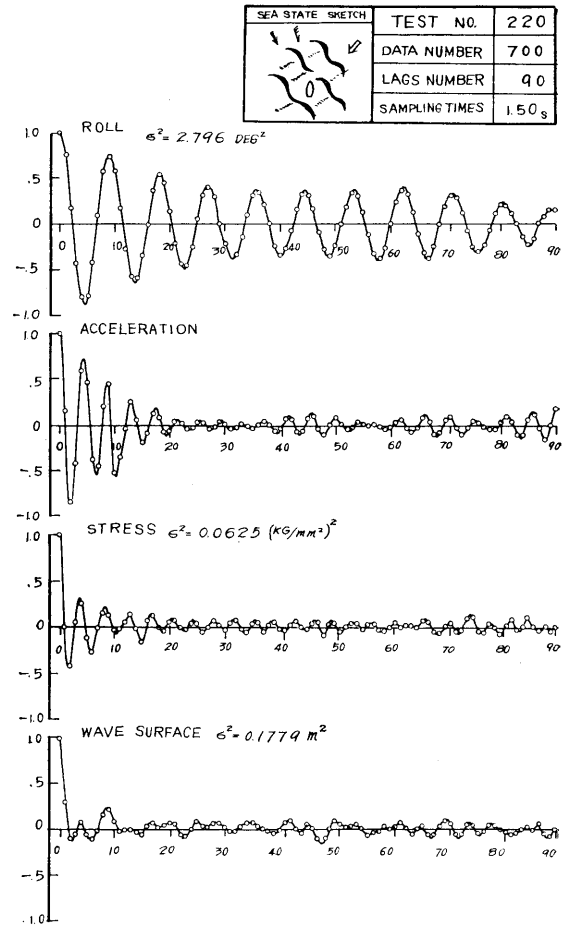


Fig 2 • 35 • 16 Correlograms of TEST NO 220

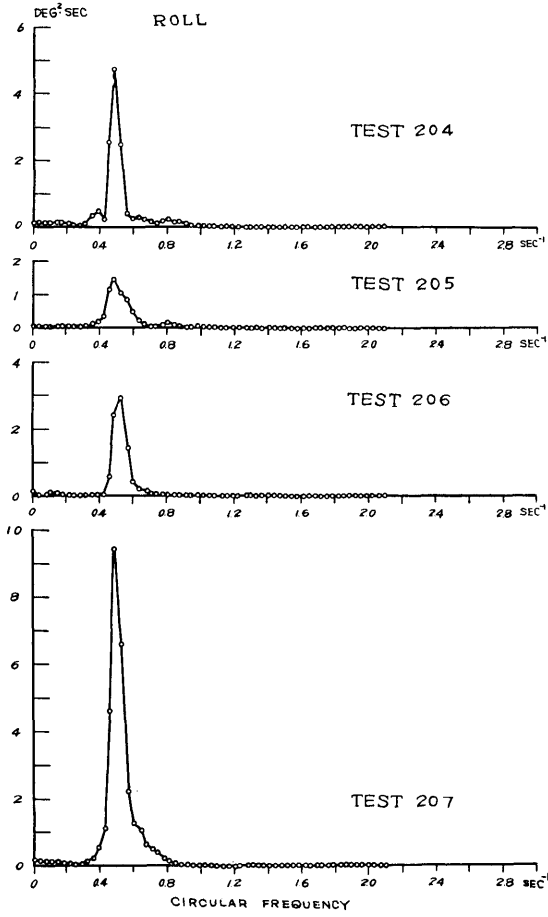


Fig 2 · 36 · 1 Power spectra of rolling

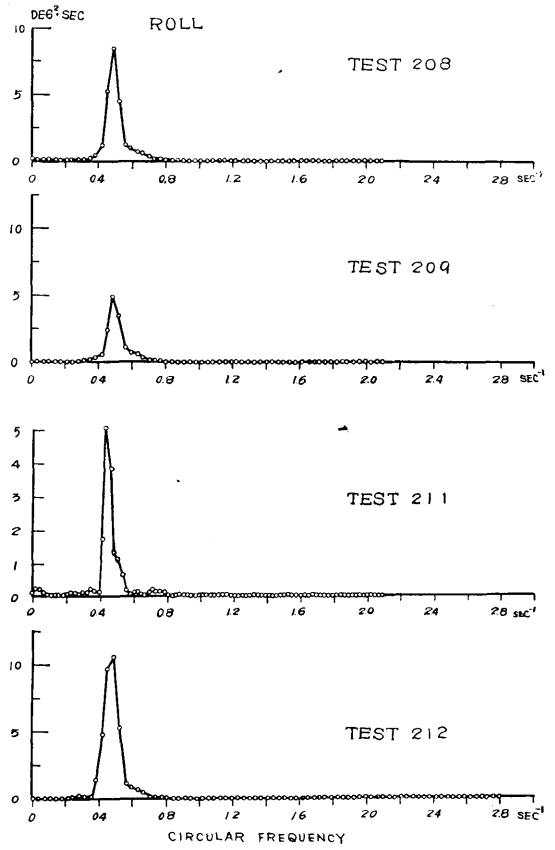


Fig 2 · 36 · 2 Power spectra of rolling

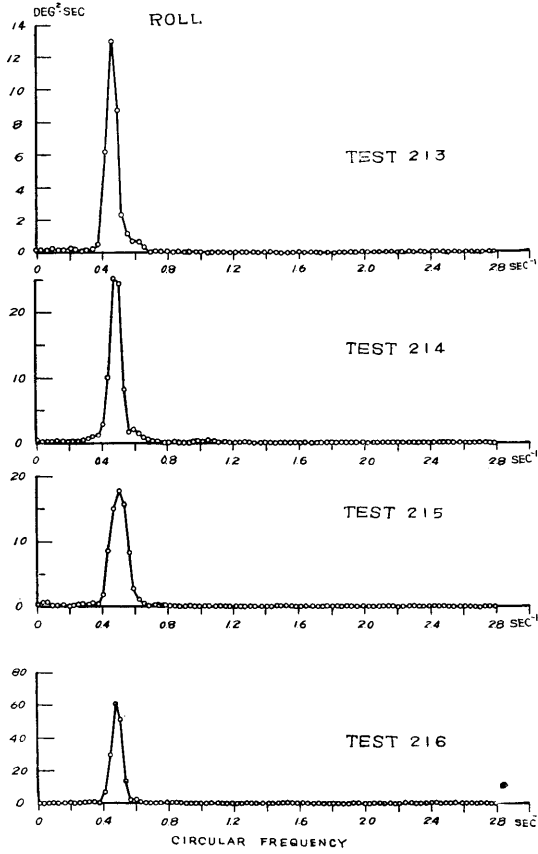


Fig 2 · 36 · 3 Power spectra of rolling

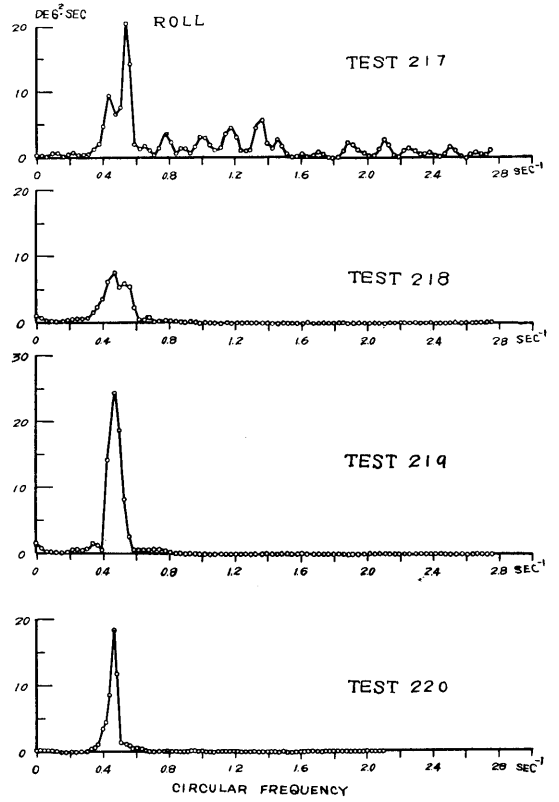


Fig 2 · 36 · 4 Power spectra of rolling

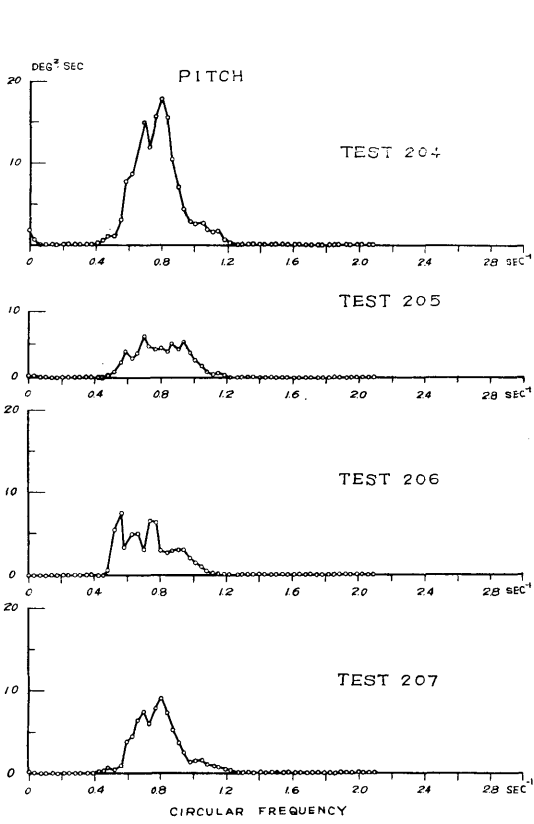


Fig 2·37·1 Power spectra of pitching

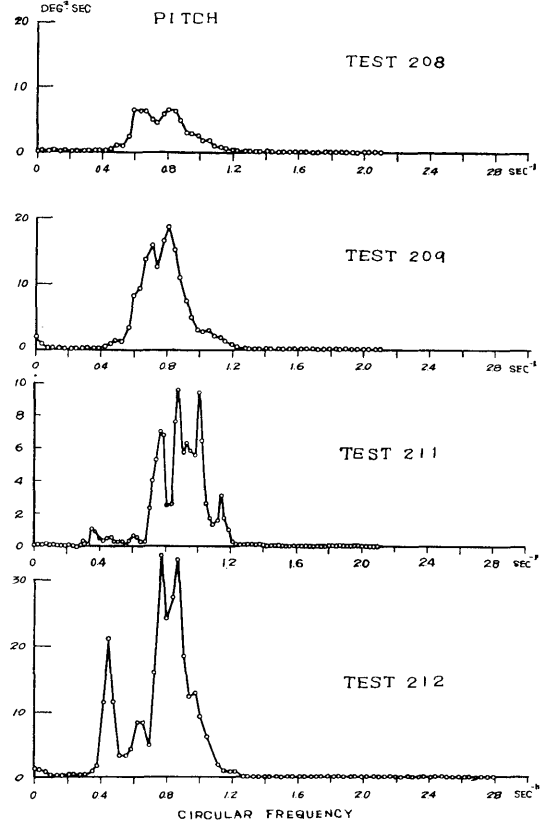


Fig 2·37·2 Power spectra of pitching

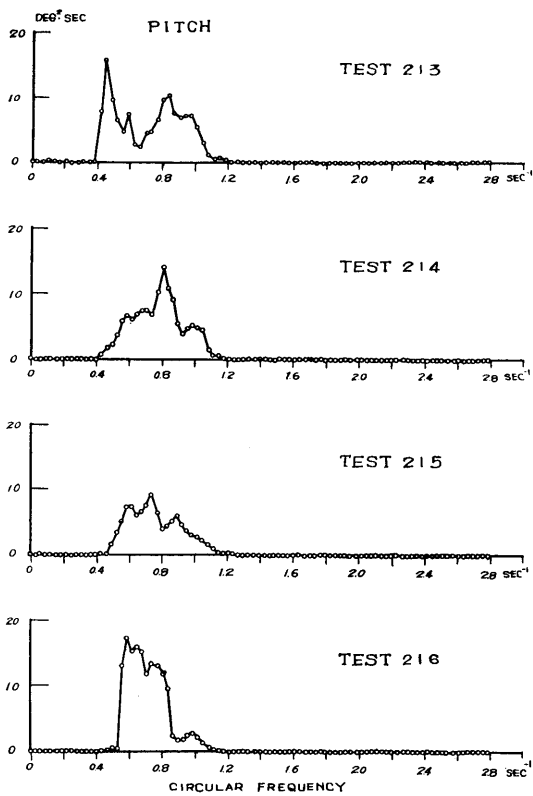


Fig 2 · 37 · 3 Power spectra of pitching

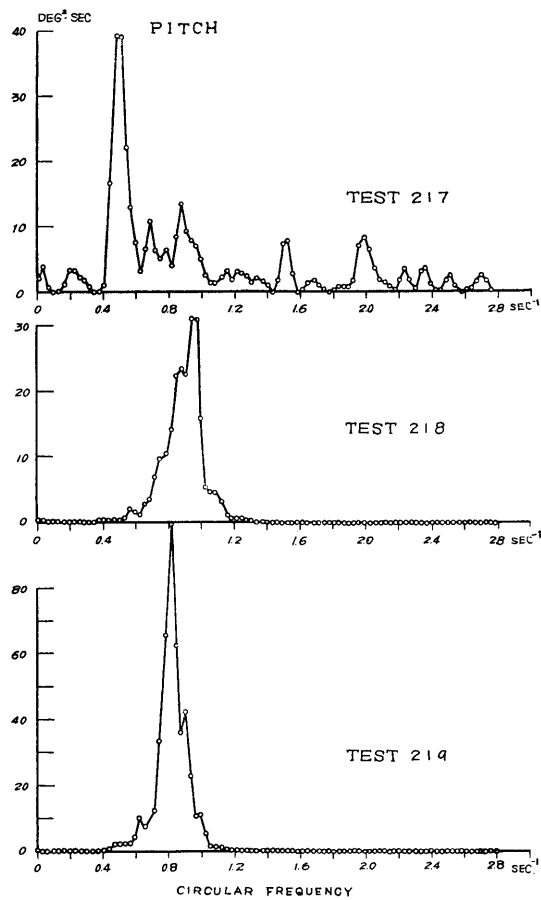


Fig 2 · 37 · 4 Power Spectra of pitching

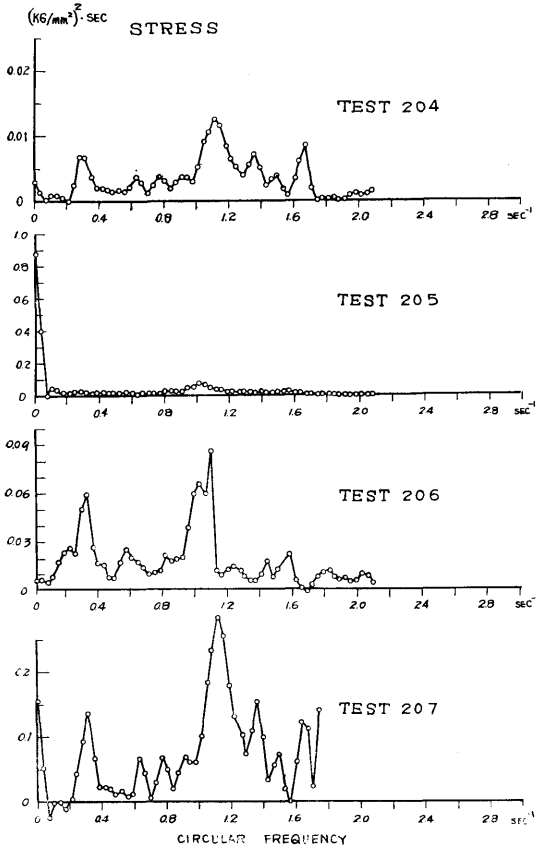


Fig 2.38.1 Power spectra of transverse stress

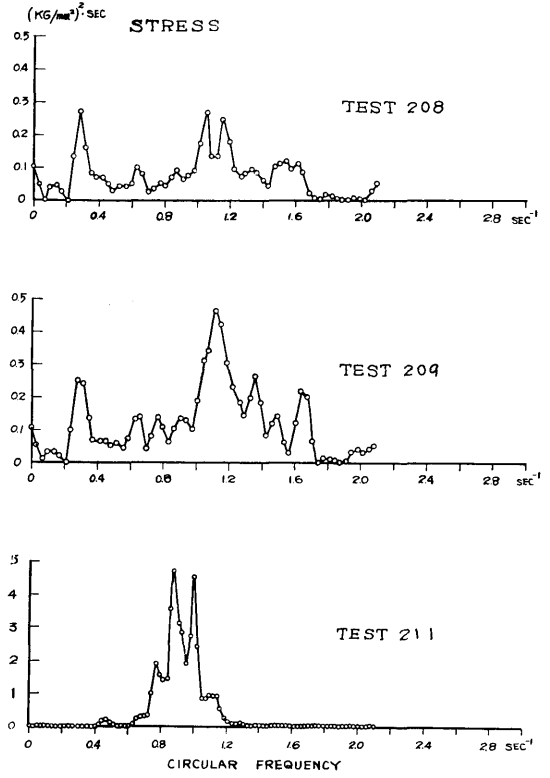


Fig 2.38.2 Power spectra of transverse stress

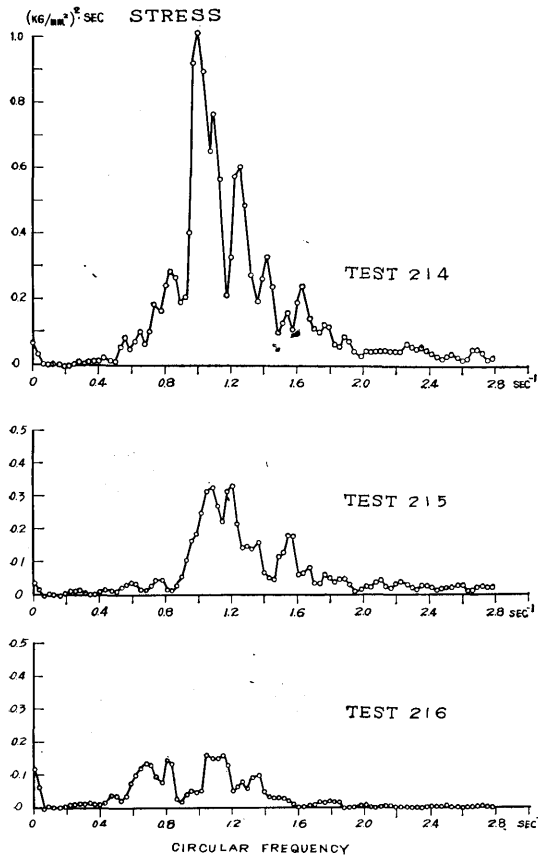


Fig 2 · 38 · 3 Power spectra of transverse stress

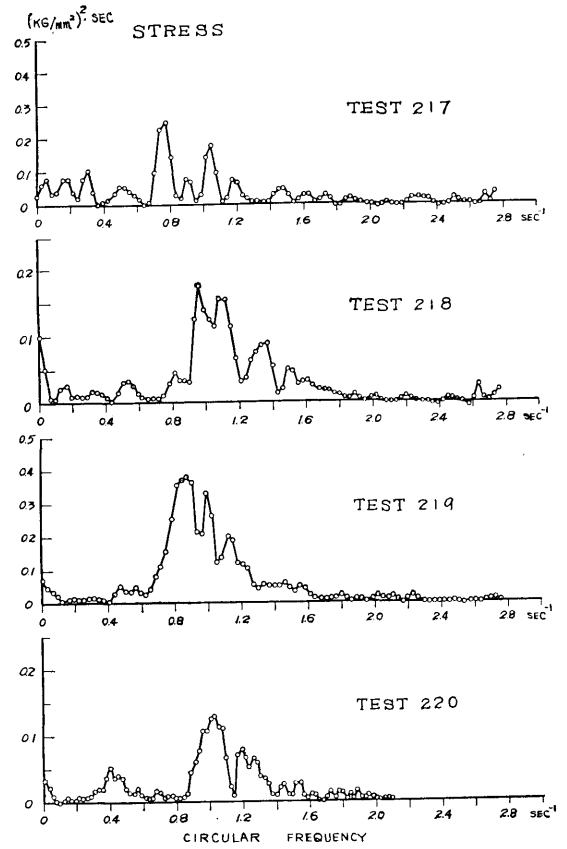


Fig 2 · 38 · 4 Power spectra of transverse stress

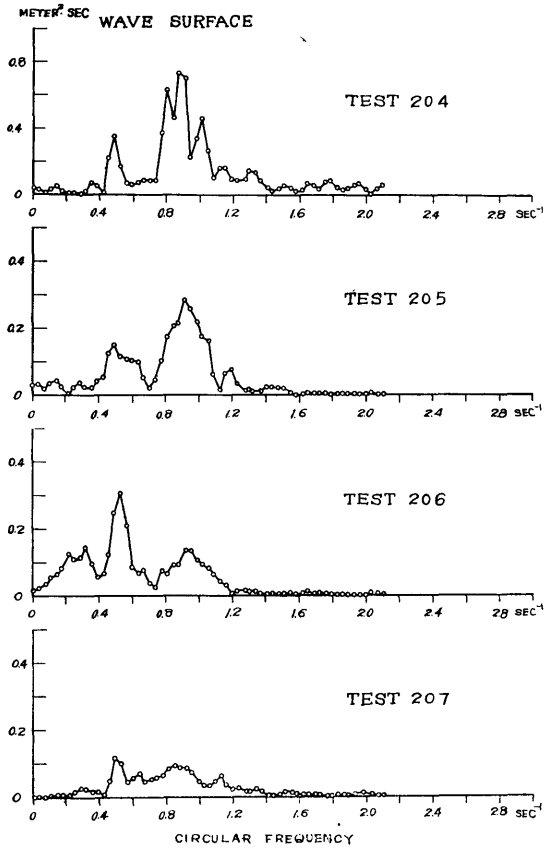


Fig 2 · 39 · 1 Power spectra of wave surface

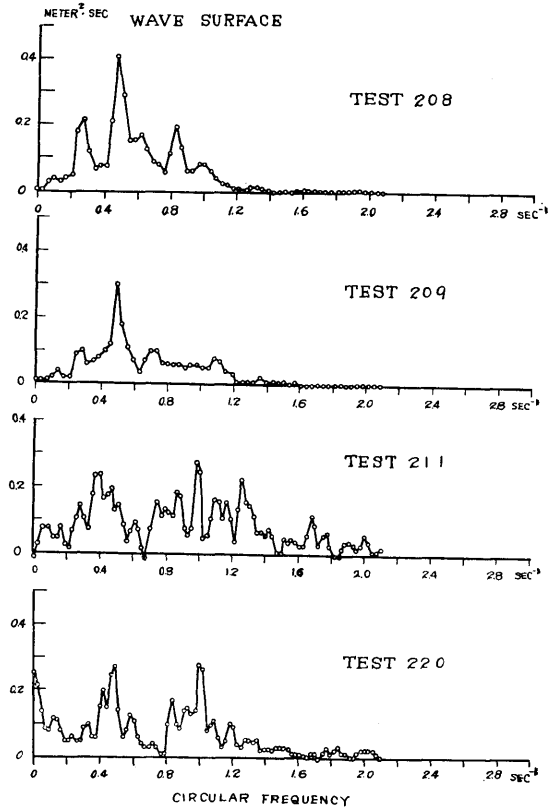


Fig 2 · 39 · 2 Power spectra of wave surface

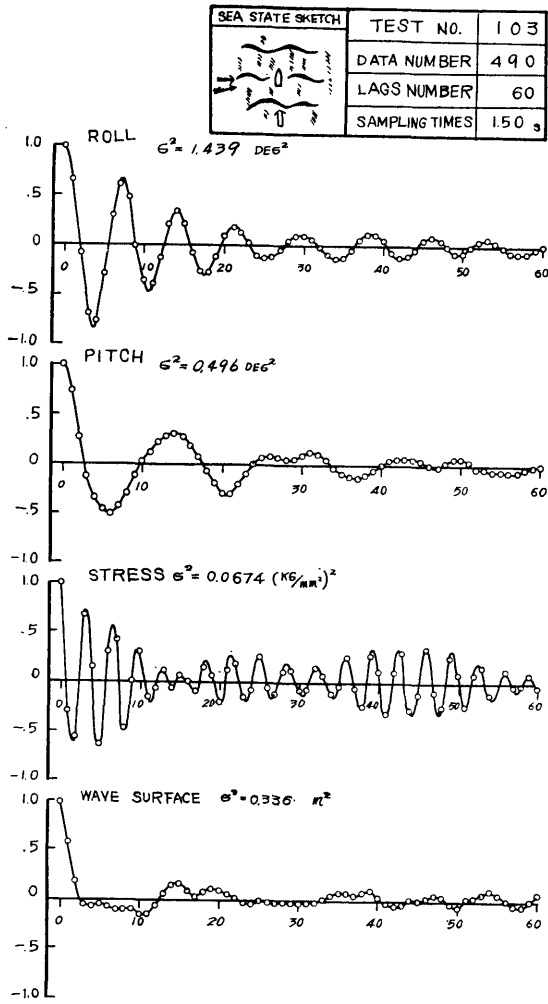


Fig 2 · 40 · 1 Correlograms of TEST NO 103

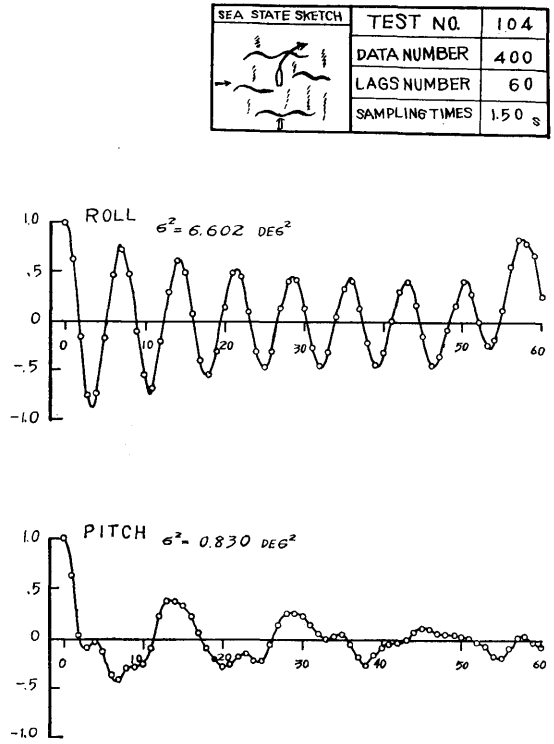


Fig 2 · 40 · 2 Correlograms of TEST NO 104

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	105
	DATA NUMBER	520
	LAGS NUMBER	60
	SAMPLING TIMES	1.50 s

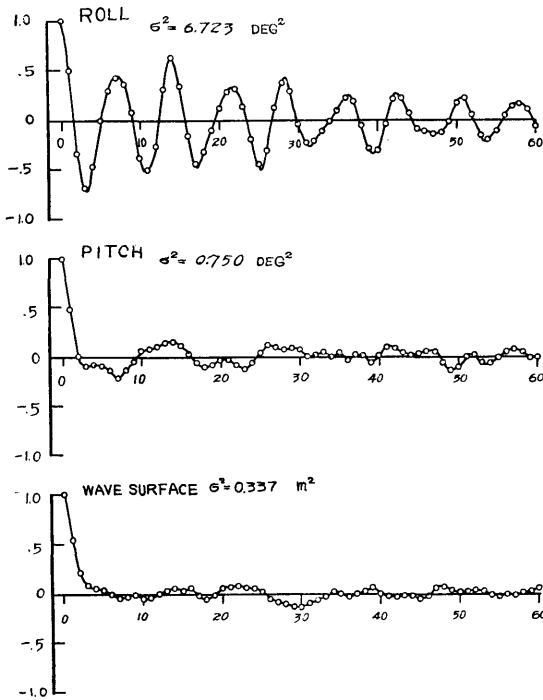


Fig 2 • 40 • 3 Correlograms of TEST NO105

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	106
	DATA NUMBER	380
	LAGS NUMBER	60
	SAMPLING TIMES	1.50 s

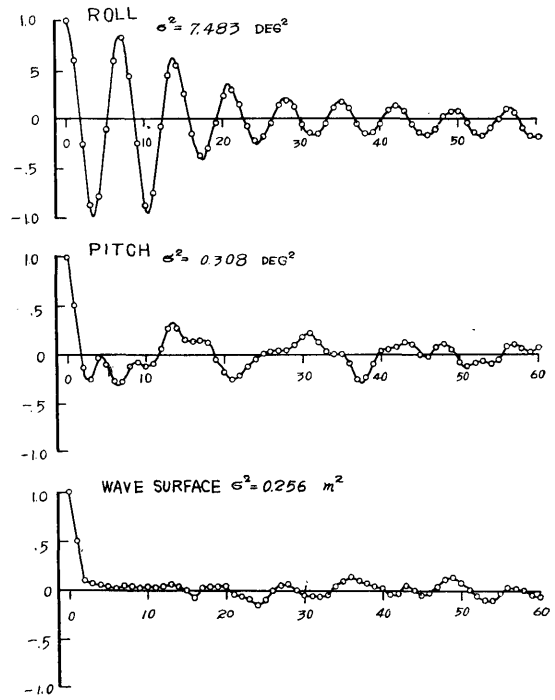
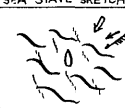



Fig 2 • 40 • 4 Correlograms of TEST NO 106

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	113
	DATA NUMBER	700
	LAGS NUMBER	60
	SAMPLING TIMES	1.00 s

SEA STATE SKETCH 	TEST NO.	115
	DATA NUMBER	660
	LAGS NUMBER	60
	SAMPLING TIMES	1.00 s

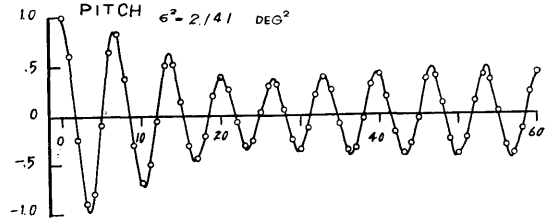
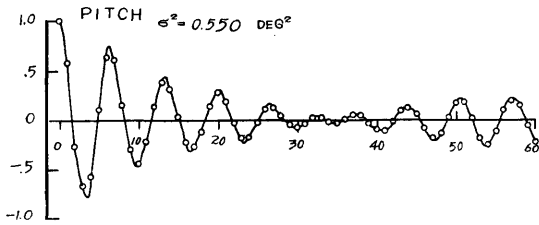
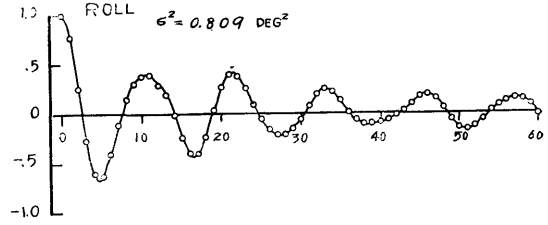
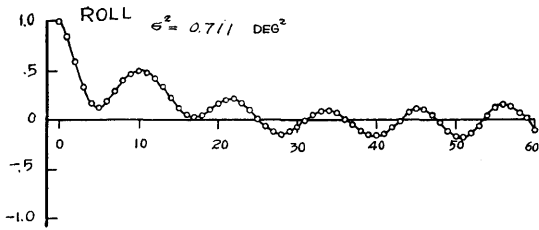


Fig 2·40·5 Correlograms of TEST NO 113

Fig 2·40·6 Correlograms of TEST NO 115

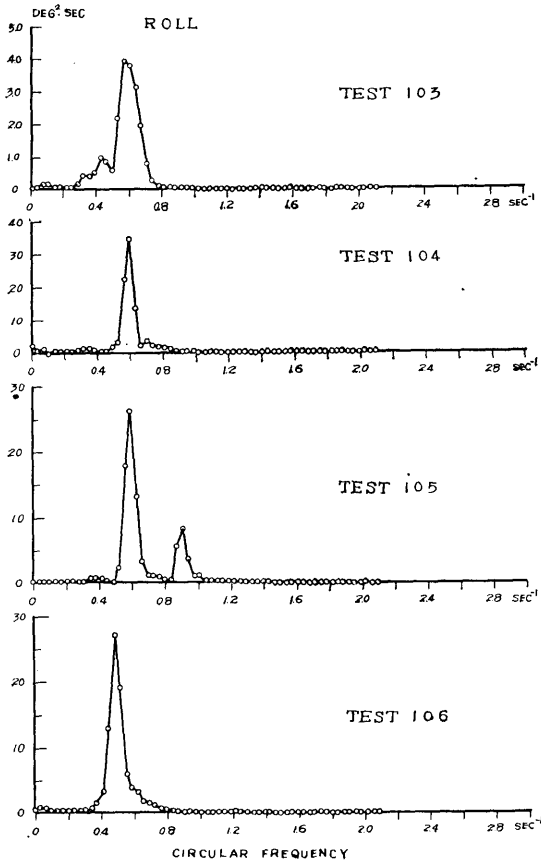


Fig 2·41·1 Power spectra of rolling

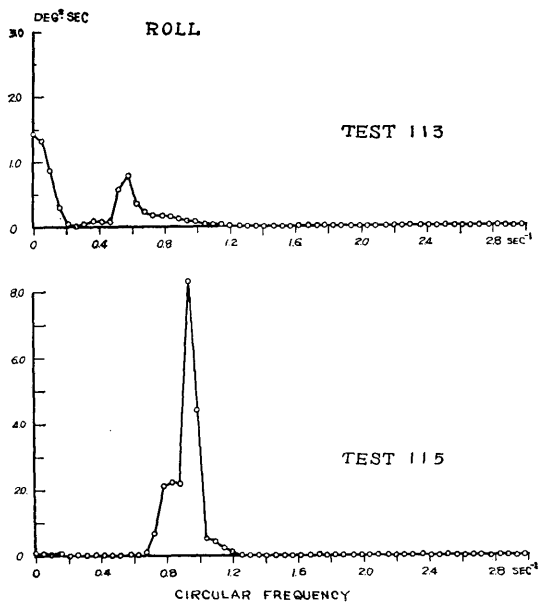


Fig 2·41·2 Power spectra of rolling

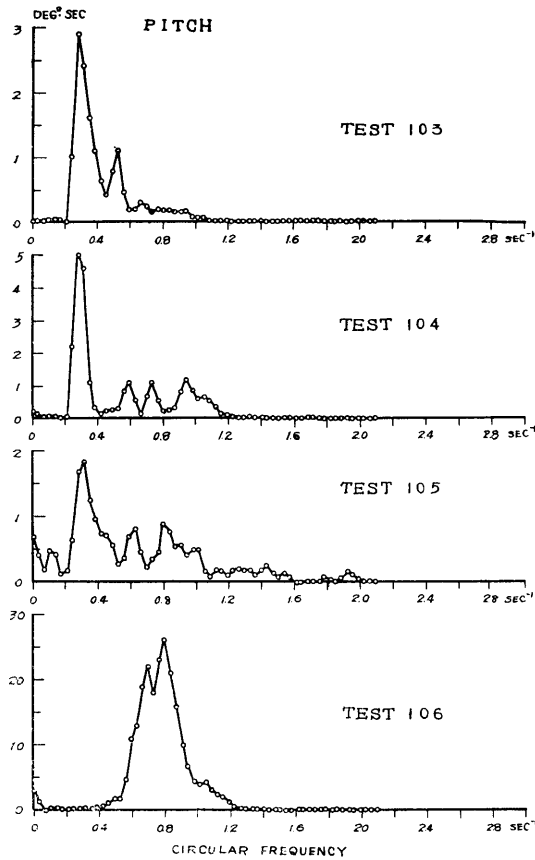


Fig 2.42.1 Power spectra of pitching

3. 考察

本試験において得られた結果の個々についての考察は前章で述べてきたので、本章ではこれを取りまとめると共に、総合的な考察を述べることにする。

3.1 海象について

1. 観測される波長は80m以上のうねりでは古典理論によって周期より定まる規則波の波長の約 $\frac{3}{4}$ に近づく。
2. うねりが遠方の生成域で発生した場合には、波の減衰を余り考察せず発生域で発達した波がそのまま船の所まで伝播して来たと予想しても、そう大きな誤りがない場合が多い。
3. 波浪観測には相当の努力を惜しまなかつたが、目視観測であるということから、ある程度以上の精度は望めなかつた。然し結果から判断すると N. Hogben

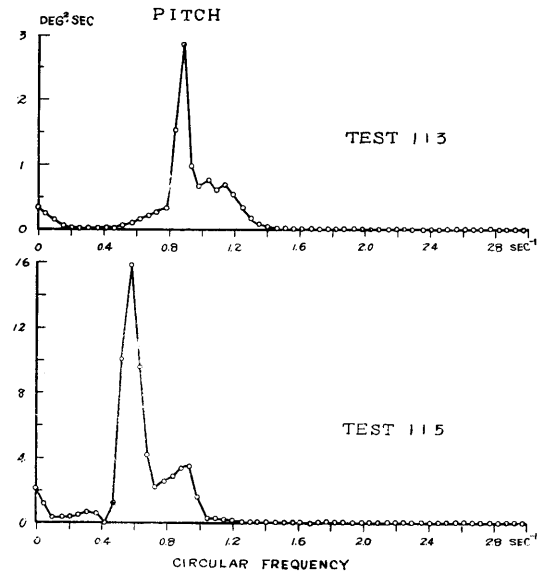


Fig 2.42.2 Power spectra of pitching

らの報告等とも比較的良好に一致している等のこともあるから、一応の成功を見たと言える。

4. 北太平洋における波浪状態を船の応答との関連の上でよく知ることは航海性能を検討するための重要な資料であるので、一般の商船が海上気象として気象庁に通報している資料を更にこのような見地から整理して活用すべきではないかと思われる。

5. 実船試験が行なわれる毎に、波を定量的に測定することの出来る実船試験用の波浪計の開発が現在の急務として望まれて来ている。今日実際に船舶技術研究所その他でもこの線に沿って努力が続けられているが、なお実用可能な計測器を作成するには幾多の難点がある。しかし、実船試験において測定する総ての船の応答の変動は波という強制外力によつて起るので、波の定量的計測は是非とも必要であり、更に一層の努力が望まれる。

6. 舷側水位計はうまく加速度計によつて補つて絶対空間に対する波高の変化を測定する手懸りを得ようとするもので、今回の結果によつて将来性についての大きな希望を与えられた。

7. 現在波浪計測としては目視観測と船が波と出会う周期のヒストグラムに頼るより以外にない。だが、目視観測では波の不規則性の表現も難しく、船体運動と比較する時に船速、波と出会う角度など誤差が入る要素が多い。従つて結局出会う周期を専ら用いざるを得な

いので、出会マークよりコレログラムを介してスペクトラム密度を求め、他に何等かの方法で波高の分散を求めて乗ずれば一層波のスペクトラムに近いものを得ることが出来るであろう。

3・2 推進性能について

1. 静穏な海面状態の日に馬力計試験にて平水中の馬力曲線を求めた。この曲線はシーマージンに関する調査の基礎資料として必要な馬力曲線となる。この結果は模型船による模型試験結果より約7%ほど高いが、船底汚損などの影響であろうと思われる。このような平水中試験は少なくとも往路、復路において各々一回は行うべきである。

2. 本実験で使用した軸馬力計は本船に装備されていた日立造船式軸馬力計であるが、この型式では箔歪計に起りやすいと云われている温度影響、零点移動などまったく現われなかつたので概ね信頼することが出来た。

実船試験が今後も引続き実施されるならば、一つの計測方法として上記型式の軸馬力計を実船用に常に装備することもよい方法であろう。

3. 計測したトルクには伴流分布、翼数、機関回転数などによつて推進器軸の1回転中に4回の意外と大きいトルク変動があるが、船体運動、波との出会周期との関連性やシーマージンにはこの変動は通常不必要である。特に、このような性能の統計論的解析などには邪魔になるので、計測に当つて Low pass filter を入れるか、或は後の処理に同等のことを考えるなど十分考慮すべきである。

4. 船の速度計測は波の計測と同様に毎回問題になる。特に、船底圧力ログは載貨状態、トルム、船体運動などによる影響があるので、速度の見当をつけるために一部で流水テストを行つて、一応は補正したが、他の所では補正を行わなかつたので、他の測定項目に比し精度は悪いであろう。

そこで、耐航性、信頼性の高い対地速度計か対水速度計の開発が依然として望まれる。

3・3 操縦性能について

1. Z 操舵試験は前述の通りに極めて簡単な試験法であるが、それから船の針路安定性や旋回性を検討する資料を得ることが出来る。今回の試験結果からも一般の中高速貨物船に見られる旋回性の多少の悪さと操舵による追従性および進路安定性が非常に優れているという結果を得た。しかし、船の状態などによつても相違するので、今後もこの試験は実船試験の都度実施

されることが望ましい。

2. 自動操縦装置に関する調査は Weather Adjust を零にし、Rate Adjust は一定にした場合において Rudder Adjust を変えて試験した。この結果サーボ機構の固有周期と思われる周期と調節による応答性の変化など興味あるデータが得られた。

一般に舵取り制御は針路偏差角に比例して行う Rudder Adjust と偏差角の角速度に比例して行う Rate Adjust 及び系の遊びである Weather Adjust よりなっているが Rudder Adjust の変化によつて多少は Rate Adjust の係数も変化する。

これらの内で Weather Adjust についての論文はいくつか発表され考察されているが^{92,93}、Rudder Adjust に関する資料はあまりなく、特に実船試験におけるデータは皆無に等しい。そこで今後装置の応答に関する更に詳細な実船の調査が望まれる。

3. 本試験のために手製で作成した操舵頻度計で操舵について多少の資料は得られたが、舵角検出間隔や検出部に多少の欠点があつたので、この点を改良すれば十分実船試験用計器として簡便で、精度よく操舵頻度が計測される。その結果風や波による当舵や長周期の操舵周期など一層明確な測定値が得られると思われる。

3・4 構造強度について

1. 縦応力頻度を測定して、船が長期間に受けると思われる応力分布を求めた。しかし、この場合構造関係では冬期一回の航海にて推定しているが、これは不合理で、少なくとも一年間の応力分布を基礎として求めるべきであろう。

2. 横応力は縦応力と同じく短期分布では Rayleigh 分布を示している。

3. 横応力と舷測水位との関連性は今回の解析範囲では一見殆んど関連がないという結果が出たが、この点については今後種々の手法により究明することにした。

3・5 統計論的解析について

1. 本試験においては従来より切望されてた合理的なデータ処理システムの開発を行う、デジタイザーを採用し、データ処理に飛躍的な進展が図られた。一方、統計的解析についても NEAC 2203G を使用して、最新の解析法によるプログラムを作成するなど、最新のデータ処理技術を導入して時間の短縮、精度の向上など計り、一貫したデータ処理システムをまとめることが出来たと云えよう。

解析に当つては統計的見地より検討し、データ数、ラグ数、サンプル時間間隔、ウィンドウ等現在の段階において最良と思われる状態で計算を行った。

2. 横揺れのスペクトラムより横揺れ固有周期が推定できた。

従つて何んらかの手法によつて横揺れの減衰係数が求められれば、船の横揺れの応答がほぼ推定可能である。

3. 縦揺れのスペクトラムからは波との出会周期と対照させて検討した結果、大凡の波のスペクトラム分布と不規則性が知り得た。これより太平洋における波は比較的狭い周波数の範囲に分布し、割合と規則性に富んだ海面状態ではないかと推論される。

4. 統計的解析は将来とも必要であるが、そのためには記録方式については計測項目の総てが数値にて磁気テープに記憶されることと、解析については大型の電子計算機を自由に用いて精密な解析、調査資料の整理など幅広く行いうることが必要である。

3・6 上下加速度の測定について

上述の他に計測項目中に上下加速度を5カ所にて計測したにも拘わらず、ヒストグラムで数点解析したに終つている。これは今迄の多くの実船試験における上下加速度測定でも同様であるが、次のような欠点があったことが判明したからである。それは記録に現われている上下加速度は、方向によつて異なるが、縦揺れ及び横揺れによる傾斜角の影響が重力の分力として相当大きく含まれてしまうことである。

今後上下加速度を計測する場合は演算回路によつて、これら他の動揺の効果を修正するか、人工水平面上で測定するかの新らしい測定技術の採用が必要であろう。

4. 結 言

以上北太平洋における第3回航海性能実船試験について述べてきたが、試験の主目的である航海性能の把握という点では更に貴重な資料が加えられたと信じられる。然し、なお解決さるべき幾つかの問題も残されているように思われる。

本試験につづいて第4回実船試験は日本郵船所属の隅田丸によつてすでに行なわれているが、今後も引続き実施されるこの様な試験においては、今迄と同様な面での資料を更に集積すると同時に、上記の問題点を解決して行く方向に沿つて努力が積重ねられる様希望したい。

なお、本報告は山隆丸についての第1報であり、試験の経過、計測項目および方法の概要と一部の解析結果およびそれに対する簡単な考察に止まつて居るが、引続き今後行なわれる実船試験の結果等も加味して更に詳細解析を行ない第2報として発表したいと考えている。

本報告の終りに当つて、本試験の重要性をよく認識されて積極的に協力された山隆丸の中村源吉船長以下乗組員各位、本試験に最適な山隆丸を供試船として進んで提供された上に、絶大な御援助を賜つた山下新日本汽船株式会社、厄介な計測装置の取付並びに配線工事に協力された川崎重工業株式会社、多忙な際にも拘らず、計器の調整、整備に協された日立造船株式会社技術研究所、日本電気株式会社、日本無線株式会社の係員の方々並びに乗船手続等に関して格別の配慮を煩した運輸省、大蔵省、外務省関係係官等に対して深く感謝の意を表すものである。

また、本試験の立案から解析、報告に至るまで全般に亘つて御指導を賜つた山内保文運動性能部長、構造強度の面で準備、解析などに協力を惜しまれなかつた船体構造部島田技官並びに運動性能部、推進性能部、船体構造部、原子力船部の関係各位に対してここに感謝する。

5. 附 録

附録A 水位計

船上の舷側から張り出した一点とその直下の水面との距離を測定するため水位計を用いた。本計器はもとも水中翼船の浮上量を測定するために製作されたものであるが、今回の実船試験において次の様な2つのねらいをもつて使用された。

イ) 海面状態を定量的に測定する。

ロ) 舷側水位とその場所の横応力との関連を調べる。

第一の点に関しては従来から実船試験において波を目測だけに頼らないで計測器を用いて測定することが切望されていて、種々の試みがなされている。いわゆる Ship borne wave recoder として主なものをあげてみると、船側に接点を配置し海水による短絡で電球を点灯したり電流出力として取出す方法、船側の水位を両舷水線下に設けた水圧計で測定すると同時に、船の絶対空間に対する上下変位を加速度計で測定して両者を電氣的に演算して水位の絶対的変化を求める Tucker 式のもの、水位の船体に対する変化を超音波

水位計で求めあとは Tucker と同じ方法で水位の絶対量を求める R. B. Marks の方法などがある。今回の試験に用いた計器は第3番目のものと全く同じ原理に基づくものである。波を測定するためには船自体の起す波の影響をなるべく避けるため、船首部に水位計を取付けることが最良であると考えられるが、一方大波高中を航行する場合船首の突込みがはげしくなり計器が波にさらわれるおそれがあったので船体中央部の舷側に取付けた。

第二の横応力との関連についてはすでに本文中において触れたところであり水位との相関関係が明らかにしている。

水位計の原理

空気中の超音波による距離測定が本計器の原理で、水面上Hの高さにある超音波発信器から出された信号が再び同じ高さの受信器に受信されるまでの時間Tを測定すれば、Tは2H即ちHに比例するという事を利用してゐる。本計器で発信される超音波信号は20KCの超音波でこれの短い信号が1秒間に18回の割合で発信される。発信波でゲートを開き受信波でゲートを閉じ、その間一定の電圧を通せば1つの矩形波ができ、それを時間について積分すれば最終的にゲートの開いている時間に比例した電気量を得る。これを次の信号処理が終るまで持続しその値を記録すればよい。かくして1秒間に18回の信号処理が行われ、水位が連続的に変化する場合でも記録は階段状になる。若し何らかの原因で、反射信号が受信されない場合には前の信号による値を保持する様になっている。

性能

測定可能距離は1秒間の信号発信回数により上限を、発信信号のパルス幅により下限を決定されるが、空気中の音波の減衰が大きいので発信回数を減らしても或る程度以上の距離は測れない。本計器では5c/sの相対水位変化を記録することを目標としているので発信回数を18c/sとしたのであり、この場合測定可能範囲は0.8m~4.0mである。注) 測定精度は $\pm 2\%$ であるが曲面をなす波面を測定する場合には発信信号の指向性の範囲の水面の最も往復距離の近い水面までの距離を測ることになる。言いかえれば Fig A・1に示す様に、発信受信両点を2つの焦点とする楕円形群のうち指向角内で水面に接するものまでの焦点からの距離の平均値を測ることになる。

注) その後本計器を改造し、発信回数の切換により2m~13mの範囲の測定も出来る様になった。

この様な理由による誤差を調べるため、ブリキ板で二次元の Sine 曲面を作り測定した結果があるので Fig A・2に示した。これによれば、波の山と谷では忠実に測定できることがわかる。波形は山が少し横に広がる様に変化する。本計器の発信、受信部を Photo 1・4及び Photo 1・5、電源部、信号処理部等を Photo 1・6に示す。

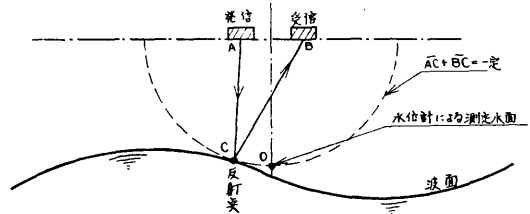


Fig A・1

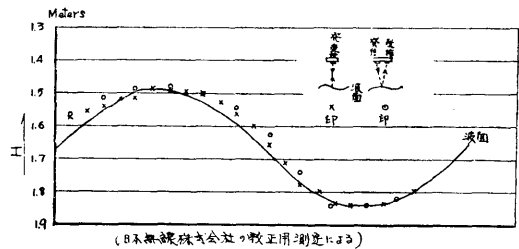


Fig A・2

附録B 操舵頻度計

航海中を通じて船はどの程度の操舵をしているかを、操舵頻度および操舵角持続時間率によつて調べるため新たに操舵頻度計を製作し、実船試験において使用した。計器の原理は Fig B・1に示す様なもので、舵軸の回転角 δ を、直線運動の板Aの変位 δ' に変換し、Aに設けた段によつてマイクロスイッチと機械的カウンターのレバーを押し、スイッチの on とカウンターの送りを同時におこなう様になっている。マイクロスイッチ及び機械的カウンターは計測しようとする舵角 $\delta_1, \delta_2, \dots$ に相当する $\delta'_1, \delta'_2, \dots$ に取付けてあり、Aの上面で右舷操舵を、下面で左舷操舵を計測する。マイクロスイッチは2秒に1回接点を閉じる電接時計と、エレクトリックカウンターと共に交流電源に結ばれていて、マイクロスイッチが閉じているあいだ電接時計から送られてくる信号を数えている。すなわちNをカウントすれば2(N-1)秒と2(N+1)秒のあいだその舵角より大きい舵角であつたことにな

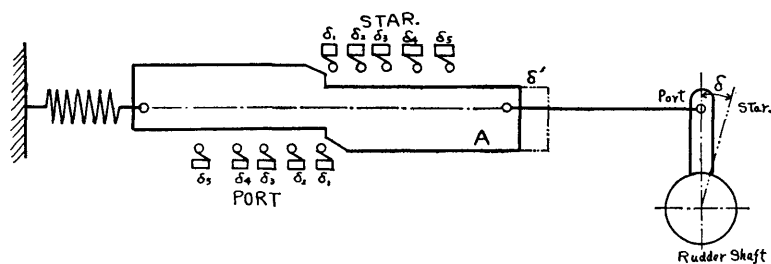


Fig B-1

る。若し $N \ll 1$ であるとすれば $2N$ 秒としてよい。機械的カウンターはAがカウンターのレバーを押すことによつて数をかぞえる。従つて、舵角がその機械的カウンターの上をAが往復する様に取られれば1つカウントすることになる。この機械的カウンターのカウント数を n とすると $\frac{N}{n}$ は1回当りの操舵時間である。本計器の写真を Photo 1-12 に示す。実船試験の測定結果については本文中にて述べたが、本計器で改良すべき点はマイクロスイッチ及び機械的カウンターのレバーの動きとスイッチが閉じたりカウンターの数が進む時刻との間に誤差が生じるので、これらの代りに精度の高い固定した電気接点（接触形或は非接触形）を用いると良い。本試験では $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$ を夫々 $2.5^\circ, 5^\circ, 8^\circ, 13^\circ, 20^\circ$ して行つた。

附録C デジタイザー

1. 概要

デジタイザーは実船実験において計測しようとする項目を敏速に解析する目的により作成したものである。即ち航行中船舶の運動及びその他を計測する計器よりの連続的に変動する電気的アナログ量を一定時間間隔でデジタル化し NEAC 2203 G 電子計算機又は FACOM-426 リレー計算機に直接挿入出来る様に記録を数値化し、穿孔紙テープを作成する装置である。

2. 本装置の主要目

2-1 構成

本装置は次記のものより構成されていて、そのブロック図は Fig C-1 に示す。

- 1 デジタイザー操作卓
- 1 " 電源
- 1 紙テープ穿孔機

1 " 自動巻取機

1 -100V 較正器

2-2 機能

1 アナログ入力

チャンネル	4チャンネル
入力レベル	フルスケール $\pm 1V$ 以上
入力インピーダンス	$5k\Omega/V$ 以上

2 スケール

バイアス電圧	$-999 \sim 000 \sim +999$
フルスケール電圧	$\pm 1V \sim \pm 10V$

3 サンプル

サンプル順序	固定
サンプル速度	0.375 sec/1Data
	0.500
	0.625
	0.750

4 表示

選択された1チャンネルのデータを表示する。

表示内容

チャンネル番号	(1~4) 1桁
極性	「+」又は「-」の表示 1桁
データ	10進表示 3桁

5 紙テープ穿孔

連続穿孔 サンプル順序に従つて各データ毎穿孔

一回穿孔

NEAC-2203G, FACOM-426

計算用穿孔テープの作成

穿孔桁数

符号	1桁
数値	3桁 (10進法)

6 A-D変換

A-D変換は比較形のもの

- 入力インピーダス 2 K Ω
- 入力電圧 0 ~ $\pm 10V$
- 出力コード 2進 \rightarrow 10進3桁
- 変換速度 $1/800$ 秒以下

7 所用電圧

- 電圧 AC 100V $\pm 10\%$
- 周波数 48~62 c/s

3. 本装置の動作

計測するアナログ入力CH1~4に接続し、スケールを決定する。これはバイアス及びゲイン設定で、計測する状態に応じて設定用マルチダイヤル、切替スイッチバイアス電圧切替スナプスイッチ等によりフルスケールを $\pm 10V$ になる様に適宜増幅する。(本装置のA-D変換器は入力電圧フルスケール $\pm 10V$ にてデジタル出力999となる。次にスケールキャリプレイションを入れて、これで全チャンネルのスケールが設定された事になる。測定開始から完了までにはあらかじめ操

作卓上で穿孔が連続か1回かを決め、スキャンセレクトにて $\approx CH1$ だけか $\approx CH1, CH2$ 等かを決める。そこでパンチコードをNEACかFACOMかに使用する計算機名の方に投入する。最後に表示ランプでどのチャンネルを見るかを決めてそのチャンネルにピンを差し込む。これで準備が完了した事になる。上記のスキャンスピードは水晶発信機(16.38KC)を有し発振出力を増幅後シュミットリガー回路にて矩形パルスを作っているのでサンプルスピードは実に精確である。そこで穿孔開始を押せば連続又は一回穿孔された紙テープが作成されることになる。なお連線記録を併用したい場合には操作卓背後にある出力端子より電磁オシロ又はペンオシロに入ればよい。しかし一般にはハイインピーダンスをデジタイザにロウインピーダンスをオシロに投入する。なお計測中においても任意のチャンネルの変化をピンジャック一本の差し換えにて表示ランプに数値を表示させられる。

サンプル順序は

穿孔順序		サンプル時間間隔秒 (同一チャンネル)			
イ) CH1	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,	0.375	0.500	0.625	0.750.....
ロ) CH1~2	1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2,	0.750	1.000	1.250	1.500.....
ハ) CH1~3	1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2,	1.125	1.500	1.875	2.250.....
ニ) CH1~4	1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4,	1.500	2.000	2.500	3.000.....

の4種類が可能である。従つて現段階では早い現象

の場合はイ)の場合がよく、遅い場合はニ)がよい。

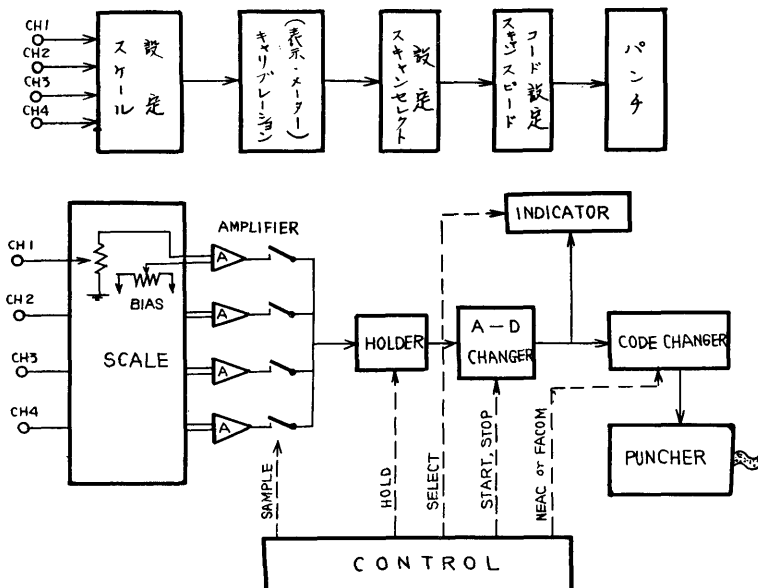


Fig C-1 Block diagram of digitizer

附録D 海象の個人観測値

山隆丸の18次航海における各計測番号ごとの海象状況は目視にて観測を実施した。観測した種類は波浪階級、うねりと風浪との波長、波高、周期と船が波に出会う角度などである。Fig D・1より Fig D・10までの図面は乗船した三人を主体にして観測値を比較したものであり、この平均値を本文中の2・1の海象内Table 1・3の数値に使用した。図を見ると波浪階級、出会う角度はほとんど個人差はないが一般に目標物がなくて、観測しにくいと云われている波長、周期になると個人差が見られる。

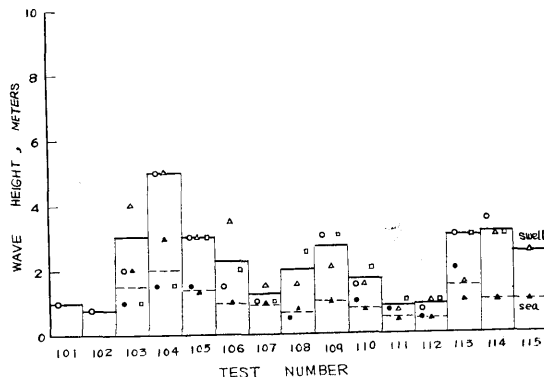


Fig D・3 Wave height observations

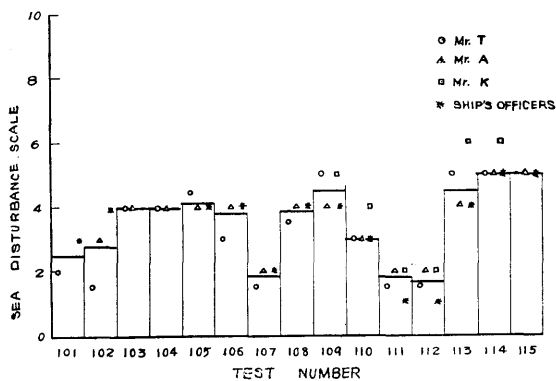


Fig D・1 Sea disturbance scale observations

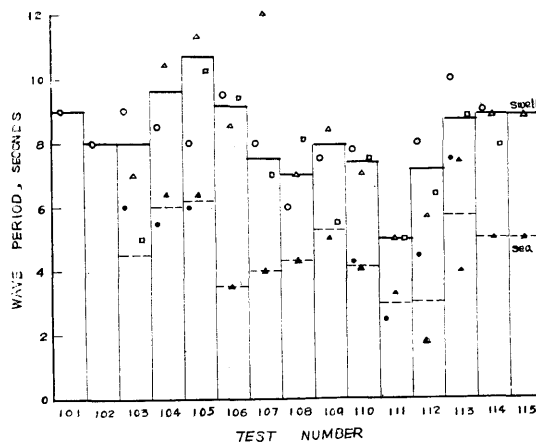


Fig D・4 Wave period observations

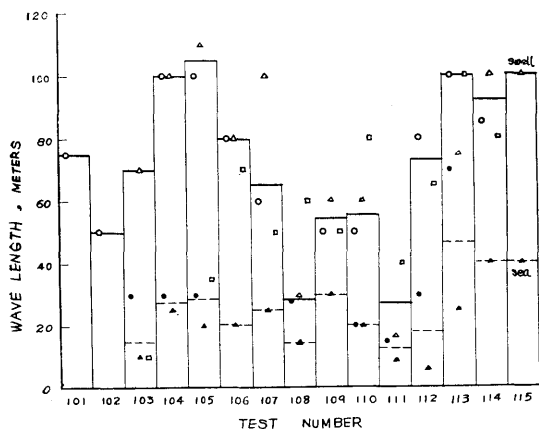


Fig D・2 Wave length observations

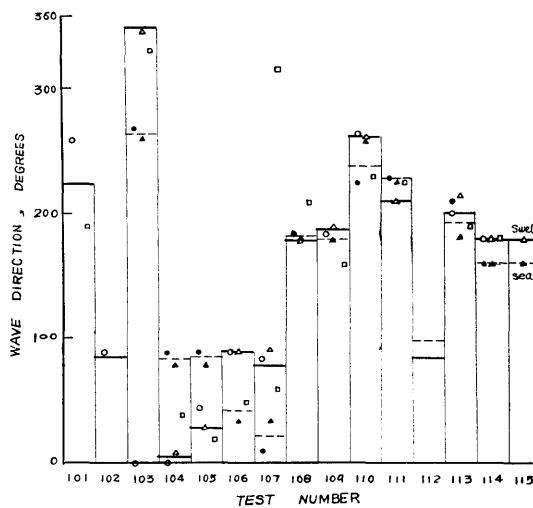


Fig D・5 Wave direction observations

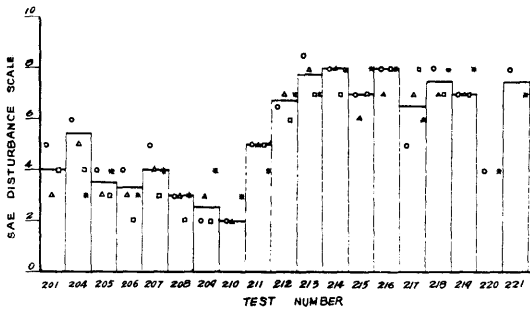


Fig D-6 Sea disturbance scale observations

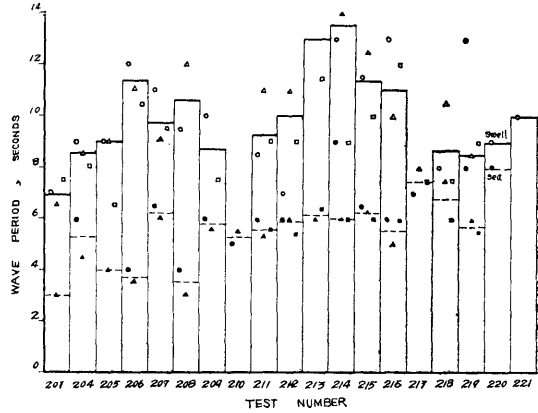


Fig D-9 Wave period observations

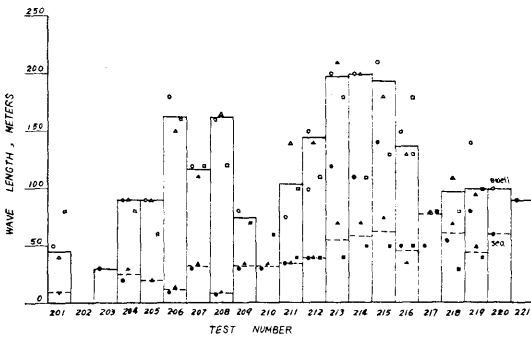


Fig D-7 Wave length observations

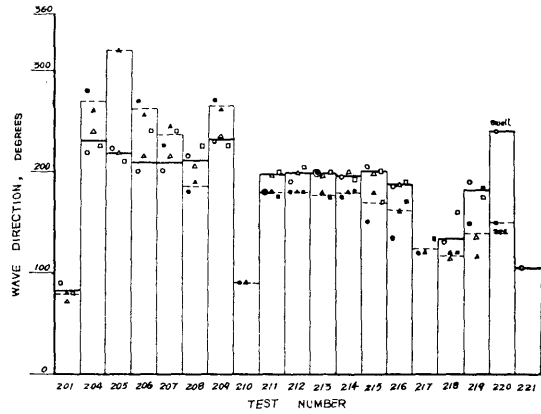


Fig D-10 Wave direction observations

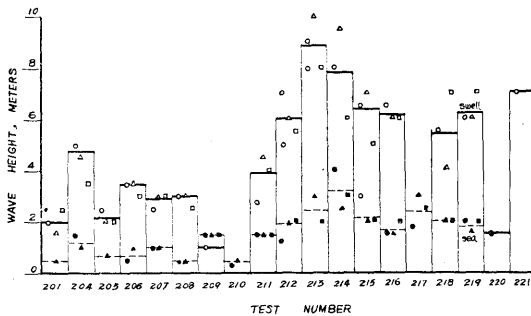


Fig D-8 Wave height observations

附録 E 荒天時の天気図

今回の復航において、連続して低気圧が発生して太平洋を東進し、波長、や風力階級が中程度以上に遭遇した日付変更線以西の場合についての天気図を Fig E・1 から Fig E・16 に示す。この間の低気圧によって発生した波に遭遇したのは TEST NO 211~220 までの試験である。この天気図は気象庁がグリニッジ標準時の0000と1200 GMT に発表したものである。図中における二重丸はその時刻における山隆丸の位置を示

しているが、図中に実験船の位置が示されていないものは20~22日までの三日間であるが、この時の船の位置は次表に示す。この天気図は1.3の復航時における試験の経過の参考として有益なものと思われる。

日付 JAN	時刻 GMT	緯度	経度
20	0000	30-50N	145-50W
	1200	31-20N	149-40W
21	0000	31-48N	153-52W
	1200	31-53N	158-03W
22	0000	32-00N	162-56W
	1200	32-05N	167-10W

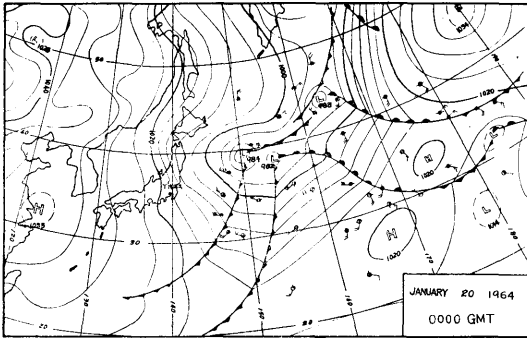


Fig E · 1

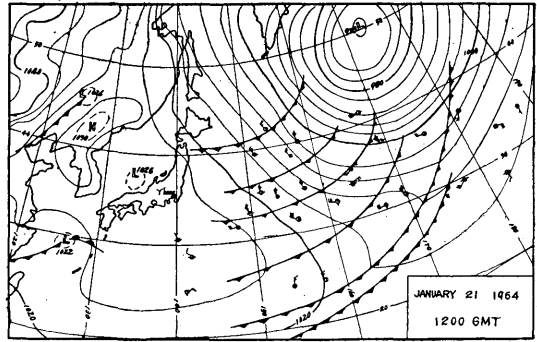


Fig E · 4

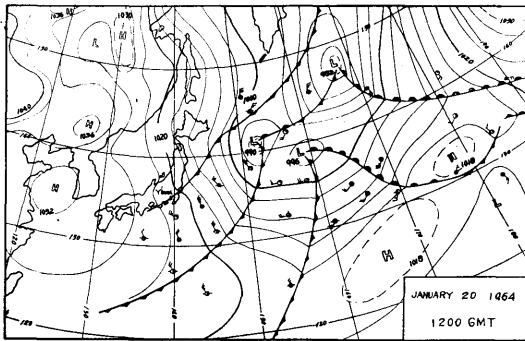


Fig E · 2

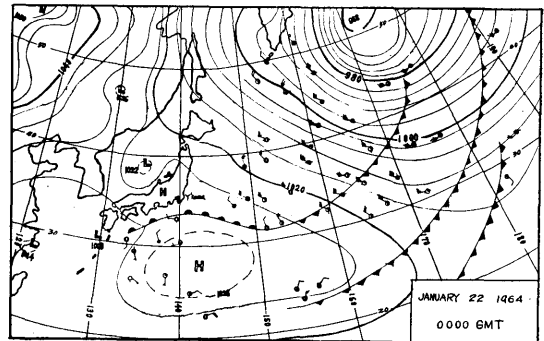


Fig E · 5

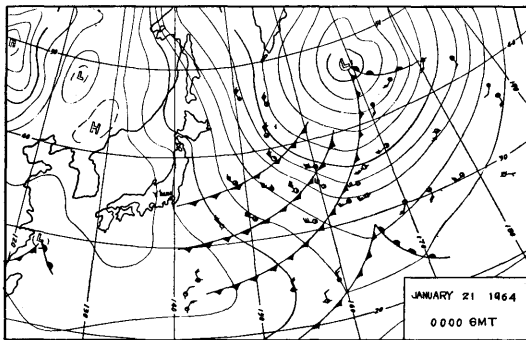


Fig E · 3

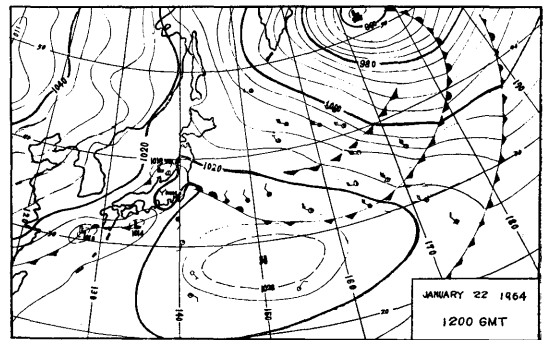


Fig E · 6

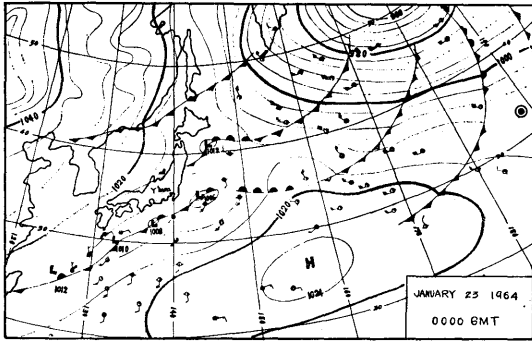


Fig E · 7

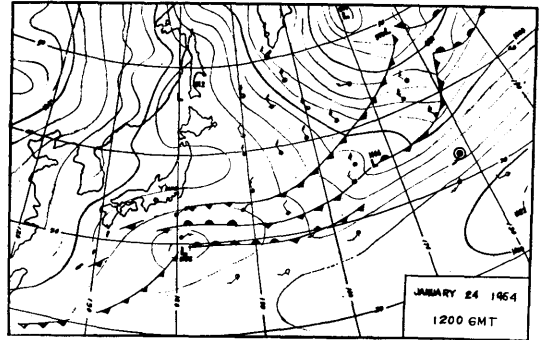


Fig E · 10

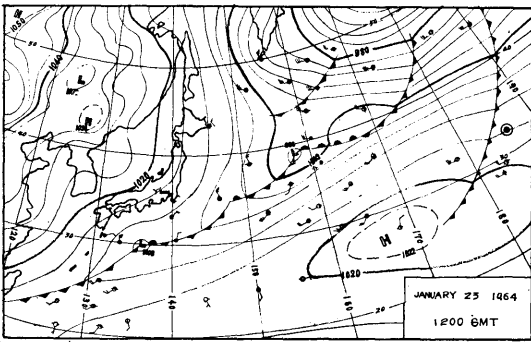


Fig E · 8

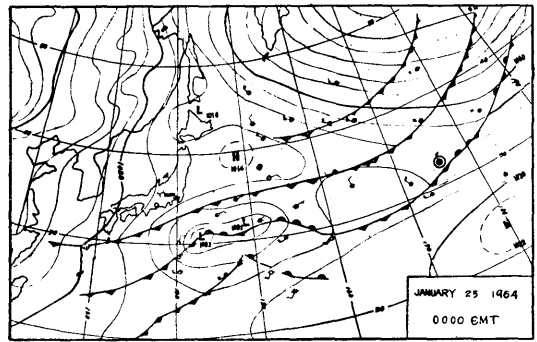


Fig E · 11

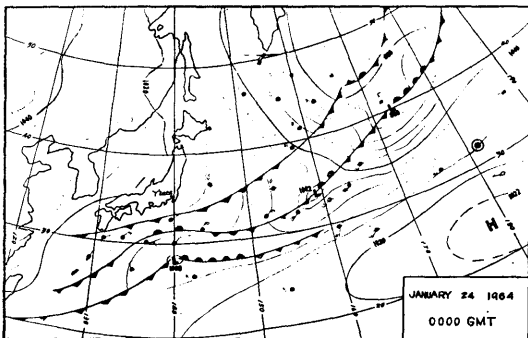


Fig E · 9

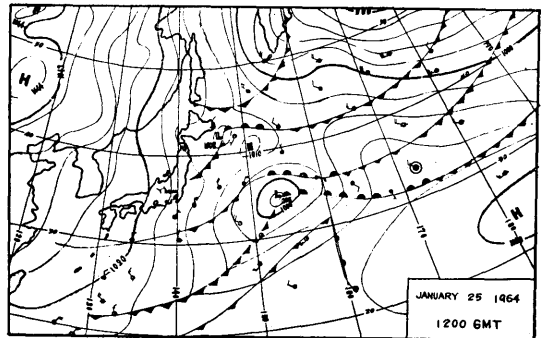


Fig E · 12

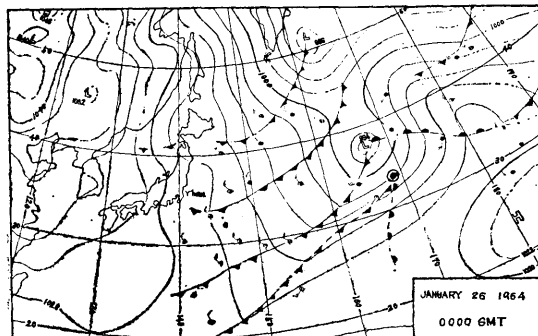


Fig E-13

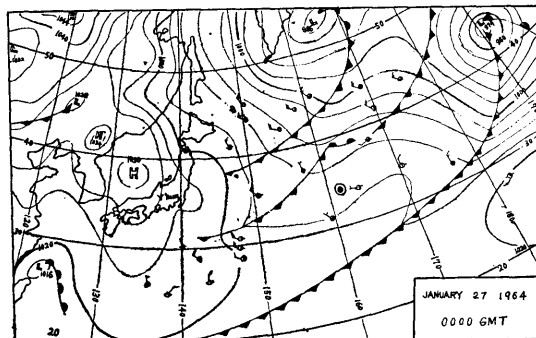


Fig E-15

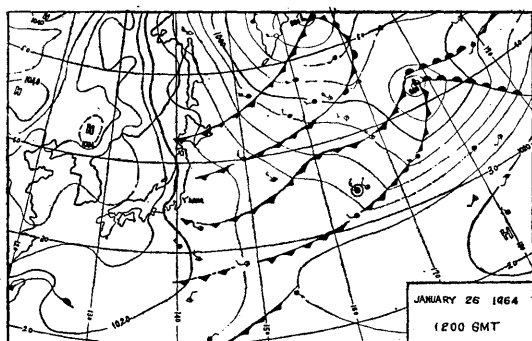


Fig E-14

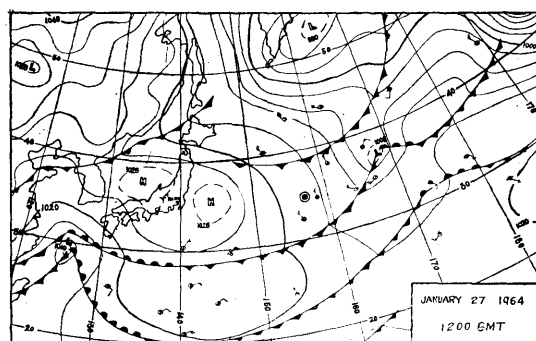


Fig E-16

—主な記号の表—

λ	波長
T_w	波の周期
T_e	波の出会い周期
AC_F	摩擦修正量
W_S	実船の伴流係数
W_M	模型船の伴流係数
Ψ	偏角
$\dot{\Psi}$	回頭角速度
δ	舵角
A_r	舵面積
ω	周波数
V	速度
∇	排水量
\bar{T}	平均周期
Ω	角速度
K, T	操縦性指数
$\hat{R}_{xx}(\tau)$	コログラム

$\hat{S}_{xx}(w), \bar{S}_{xx}(w)$ スペクトラム
 σ^2 分散

参考文献

- 1) 矢崎敦生, 田中拓, 松元尚義, 直井保 “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実船試験について” 船研報告 第1巻, 第3・4号 1964.
- 2) 横尾幸一, 北川弘光, 谷政明 “ニューヨーク定期貨物船まんはつたん丸による北太平洋航海性能実船試験について” 第3回船研発表会講演概要 1964. 11
- 3) H. U. Roll “Height Length and Steepness of Seawaves in the North Atlantic and Dimensions of Seawaves as Functions of Wind Force.” Society of the Naval Arch. and Marine Engineers.
- 4) “船体性能の向上に関する調査報告書” (その1) “シーマージンに関する調査” 日本造船研究協会 1964. 3
- 5) W. J. Pierson, Jr., G. Neumann, R. W. James “Practical Methods for observing and Forecasting

- Ocean Waves, by means of Wave Spectra and Statistics." 1955
- 6) N. Hogben, B. Sc., Ph. D. "Sea State Observation Studies on the S.S. Cairndhu and R.V. Ernest Holt." NPL Ship Rep. 32. 1962. 8.
 - 7) 野本謙作 "船の操縦性" 造船協会操縦性シンポジウム 1964. 6.
 - 8) 野本謙作 "自動操縦の安定性について" 造船協会論文集 104号
 - 9) 元良誠三 "荒天中の自動操舵と Yawing について" 造船協会論文集 94号
 - 10) 山内保文, 富田哲治郎, 安藤定雄 "舵型式の推進操縦性能に及ぼす影響" 第24回運研発表会。
 - 11) 秋田好雄 "波浪と船体強度" 海洋波と船舶に関するシンポジウム 1961. 1.
 - 12) "Experiments on the Stress Frequency and Deck Wave Load acting on High Speed Boats in Rough Seas."
The Shipbuilding Research Association of Japan. 1964
 - 13) 山内保文, "船の波浪中横揺応答の解析法について" (その1), (その2), (その3) 造船協会論文集109, 110, 111号
 - 14) "船舶の波浪中における復原性に関する研究" 第3分冊 日本造船研究協会第17部会報告書
 - 15) "不規則振動のスペクトル解析" 統計数理研究所 昭和37年度講座
 - 16) H. Akaike, Y. Yamanouchi, etc: "On the Statistical estimation on Frequency Response Functions." Annals of the Institute of Statistical Mathematics. Vol. 14 1962
 - 17) Korvin-Kroukovsky: "Theory of seakeeping." SNAME, 1961
 - 18) G. Neumann: "On Ocean Wave Spectra and a New Method of Forecasting Wind generated Sea" Beach Erosion Board, Tech. memo No. 43,
 - 19) N. H. Jasper: "Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and of Wave-induced Ship Stresses and Motions, with Engineering Application." Trans. ASNAME 1956
 - 20) 山内保文, 菅井和夫, 安藤定雄 "船舶の耐航性試験データ処理システムについて" 船研発表会講演概要 1964. 11.
 - 21) H. U. Sverdrup and W. H. Munk; "Wind, Sea, and Swell; Theory of relations for Forecasting" H. O. Pub. 601 1947.
 - 22) 木下昌雄, 岡田正次郎 "軸馬力計の改良について" 造船協会論文集 102号