

社 団 法 人

# 日本造船研究協会報告

第 24 号

昭 和 33 年 11 月

---

実船航走時の強度試験 ..... 第 10, 24 研究部会

Experiments on the Strength of Ships in Rough Seas  
..... The 10th & the 24th Research Committees

---

The Report  
of the  
Shipbuilding Research Association  
of Japan

Tokyo, JAPAN

No. 24

November 1958

第 10, 24 研究部会委員名簿

主　　幹　　事	吉　識　雅　夫	金　沢　武	佐　藤　正　彦
幹　　事	越　智　和　夫	金　沢　武	佐　藤　正　彦
委　　員	遠　山　伝　藏	荒　稻　藏	安　藤　良　夫
委　　員	秋　田　好　雄	石　黒　忍(故)	石　井　日　出
委　　員	池　田　一　夫	石　山　一　郎	市　川　慎　平
委　　員	石　野　一　雄	蒲　田　利　喜	北　川　次　郎
委　　員	小　川　鉄　一	小　林　信　夫	小　林　治　男
委　　員	木　内　文　治	品　田　八　郎	斎　藤　八　伯
委　　員	斎　藤　良　雄	高　橋　菊　三	高　橋　幸　宗
委　　員	末　次　一　誠	竹　鼻　雄　一	千　長　澤　準
委　　員	宝　田　直　之	寺　沢　雄　興	長　橋　進　博
委　　員	角　田　令　二	西　牧　作　興	林　宮　安　爾
委　　員	中　西　久　勝	林　源　建　道	山　部　道　郎
委　　員	埴　田　清　讓	三　波　順　英	渡　越　英　一
委　　員	藤　田　三　郎	八　木　吉　祐	
委　　員	山　本　善　之	吉　本　誠　佑	

Membership of the 10th & the 24th Research Committees

Chairman	Masao YOSHIKI	Takeshi KANAZAWA	Masahiko SATŌ
Secretaries	Kazuo OCHI Denzō TŌYAMA		
Members	Yoshio AKITA Kazuo IKEDA Kazuo ISHINO Kōichi OGAWA Bunji KIUCHI Yoshio SAITŌ Issei SUETSUGU Naonosuke TAKARADA Reiji TSUNODA Hisashi NAKANISHI Kiyokatsu HANITA Yuzuru FUJITA Saburō YAMANAKA Yoshiyuki YAMAMOTO	Inazō ARA Shinobu ISHIGURO Ichirō ISHIYAMA Rikizo KAMATA Nobuo KOBAYASHI Hachirō SHINADA Kikuo TAKAHASHI Mitsuo TAKEHANA Kazuo TERAZAWA Kō NISHIMAKI Gensaku HAYASHI Kenichi MINAMI Junkichi YAGI Seiyū YOSHIMOTO	Yoshio ANDŌ Hideo ISHII Shinpei ICHIKAWA Jirō KITAGAWA Haruo KOBAYASHI Sukehachi SHINOHARA Kōhaku TAKAHASHI Muneo CHIBA Jun NAGASAWA Susumu HASHIMOTO Hiroshi HAYASHI Yasuji MIYABE Michirō YAMAKOSHI Eiichi WATANABE

# Experiments on the Strength of Ships in Rough Seas

## 1. Introduction

Two strength tests of actual ships in rough seas have been carried out in Japan, namely using S. S. "Hokuto Maru" ( $68.5\text{ m} \times 11.00\text{ m} \times 7.50\text{ m}$ ) as an experimental ship in the coast of Japan in January 1954, and using M. S. "Ginga Maru" ( $92.0\text{ m} \times 14.5\text{ m} \times 7.4\text{ m}$ ) in the North Pacific Ocean in January 1956, conducted by the 10th and the 24th Research Committee respectively organized in the Shipbuilding Research Association of Japan. The main purposes of these tests are as follows:

- (1) To study the dynamical strength of ships among waves.
- (2) To measure the impulsive pressure imposed on ship's hull and the impulsive stresses in ship structure produced by slamming.

## 2. Outline of Test Programs

The first test (S. S. "Hokuto Maru" 1954) was planned mainly to check the performances of various measuring apparatus in rough seas, and the second test (M. S. "Ginga Maru" 1956) was carried out as the main experiment to study the strength of ships among waves.

The items measured and number of measurements in these two tests are shown in the following table:

Table 1 Measured Items and Number of Measured Point.  
S. S. "Hokuto Maru" (1954)

Measured Items	Number of measured points	Remarks
Water Pressure	12	at both sides and bottom of the ship, between $0.09L$ and $0.26L$ from the bow
Stresses	65	along the full length of ship along the full length of ship at about $0.25L$ from the bow at 2 frames near the bow at 2 panels of the side shell near the bow
Acceleration	2	at the bow and the midship
Water Level	1	starboard near the bow
Vibration	1	
Pitching and Rolling	2	at chart room
Total	83	

Measured Items	Number of measured points	Remarks
Water Pressure	36	mainly near the bow, along the full length
Stresses	7 11 16	along the full length of ship, starboard at the midship, starboard near the bow
Acceleration	4	near the bow, on the side shell 2 points at the bow, 1 point each at the midship and stern
Water Level	12	6 sections each on both sides of the ship along the full length
Pitching and Rolling	2	
Total	88	

In the Hokuto Maru test, sea and weather conditions were comparatively calm, and slamming phenomena were observed only twice or so.

On the other hand, considerable number of slamming were recorded in the Ginga Maru test.

### 3. Measuring Apparatus

Based on the test results of S.S. "Hokuto Maru", the following measuring apparatus were used in the Ginga Maru test.

#### 3.1 Apparatus for Stress Measurements

- |   |             |         |
|---|-------------|---------|
| (a) Electronic Scanning Strain Indicator .....    | 10 channels | 2 units |
| (b) Dynamical Strain Meter (Carrier System) ..... | 3 channels  | 1 unit  |
|   | 6 channels  | 7 units |
|   | 12 channels | 1 unit  |

#### 3.2 Water Pressure Gages

36 units of water pressure gage made of a thin metalic membrane with 0.3~0.5 mm thickness and 20 mm in diameter, were used in the experiment, and the deflection of the membrane was picked up by a 4 elements foil gage pasted on it.

To minimize the fluctuation of the base-line of records due to temperature change, a fine Cu wire was inserted in the pick-up circuit.

#### 3.3 Water-Level Meters

Six sets of water-level meter which had eight contact points each, were installed on both outer side wall of ship.

Each contact point made a circuit when immersed in sea water, and lighted a small lamp arranged in a Wave Profile Indicating Panel so as to make wave profile visible. The pictures of the panel were taken by a camera at a constant interval.

#### 3.4 Accelerographs

Four units of accelerograph with pick up of resistance wire strain gage type were used.

In order to record the displacement of ship's motion directly, a double integral device was attached to one of the accelerographs.

### 3.5 Rolling Recorder

The rolling of ship was measured by a rolling recorder of gyroscopic type and recorded by a electro-magnetic oscillograph.

### 3.6 Recording Apparatus

Except photographic recording of stresses measured by the electronic scanning strain indicators and of wave profile measured by the water level meters, all records were taken by six units of electro-magnetic oscillograph with 12 channels.

Natural frequencies of the vibrators of oscillographs were about 300 cps. and sensitivities were 12 mm/mA.

## 4. Analysis

In the strength test of M. S. "Ginga Maru", 132 series of test data were obtained by using the measuring apparatus mentioned above, and especially the following items were successfully recorded through the tests; i.e. the vibrating stresses produced in ship's hull due to slamming, the variation of water pressure, and the change of ship's acceleration due to slamming. In this report, three series of test data, i.e. Exp. Nos. 70, 71, and 81 in which slamming were clearly recorded, were selected and analized mainly for saving of labours as well as expenses.

### 4.1 Relation between Sea Conditions and Slamming

Judging from all of the test data, slamming phenomena were observed only in the case when the wind velocity is more than 12 m/sec. and the wave height is higher than 5 m. Futhermore, maximum double amplitude of ship's acceleration at slamming exceeded about 650 gal. and water pressure became higher than usual at slamming.

But it might be considered that the slamming encountered by M. S. "Ginga Maru" was not so severe in degree, since the wave lengths were comparatively short and the ship herself could not maintain high speed in rough seas.

It is also recognized that the spectrum of ship's stress-frequency in comparatively rough seas follows the Rayleigh's distribution, and  $0.9 \text{ kg/mm}^2$  was the most frequent stress in double amplitude, analysed from 6 experiments of 324 stress frequencies.

### 4.2 Relation between Slamming and Ship's Motion

The relation between occurrence of slamming and ship's motion was investigated, considering the acceleration of ship at the bow.

Slamming occurred frequently in high sea (average wave length 30~65 m), when the natural pitching period of ship approached to the period of encounter. Also slamming appeared in the case when the single amplitude of acceleration at the bow exceeded about 320 gal when angle of encounter was  $0^\circ$ , and about 200 gal when angle of encounter was  $45^\circ$  respectively.

### 4.3 Water Pressure and Water Level

#### (a) Impulsive pressure at the bottom of the bow

The impulsive pressures measured at the forward bottom were nearly proportional to the square of the relative velocity between ship and wave, and this relation coincides with the theory predicted by Wagner.

#### (b) Comparison between the variation of water pressure and water level

The ratios  $\gamma$  of the variation of water pressure to that of water level were investigated at 6 sections where water levels were measured.

The value of  $\gamma$  showed very wide variation, however, the values of  $\gamma$  at and near the midship were almost constant because of no influence of pitching and the most frequent value at midship was smaller than that of  $\gamma$  at the bow and stern.

At the forward bottom where the bottom came out of the sea surface, the absolute values of water pressure were obtained and compared with the data of water level measurements. It was recognized that the measured water pressures at the forward bottom were greater than the hydrostatic pressure when ship was dipping down and smaller when ship was heaving up. Near the sea surface, however, the results were contrary to that obtained at the bottom.

#### 4.4 Hull Stresses induced by Slamming

Stresses induced in the ship's hull by slamming were calculated using the data of impulsive force and acceleration of ship.

Impulsive pressure by slamming was estimated about 150 t (concentrated at 0.1 L from F. P.) refering the data of water pressure at the forward bottom.

Theoretical calculation for hull bending stresses at slamming was performed assuming that these stresses were caused by the impulsive pressure of 150 t and the inertia force of ship's weight due to acceleration of slamming. The results of calculation showed fairly good coincidence with the experimental values of Exp. No. 70.

#### 4.5 Hull Stresses due to Wave Motion

The relations between hull bending stresses among waves and wave length, wave height as well as ship's speed were investigated.

The bending stresses at the upper deck tended to increase considerably as the wave height increased, but did not change remarkably with the variation of wave length. Since the maximum speed of ship was about  $V/\sqrt{L} = 1.2$  and decreased considerably in rough seas, the effect of ship's speed could not be observed clearly.

Dynamical strength calculation was performed on the basis of inertia force at every using part of the ship's hull calculated from the records of accelerograph and of effective buoyancy obtained from the records of water pressure gages, and compared with the results of Exp. No. 70 and Exp. No. 71.

The distribution of bending stresses in upper deck thus calculated showed a somewhat different tendency from that of the measured stresses near the fore and aft end of ship. At the midlength of ship, however, they are in fairly good agreement. Concerning the stress distribution in the section of ship at Fr. 68~69, the calculated values consisted with the measured ones at the bottom, though at the deck and sides of ship, the calculated values were slightly greater than the observed.

#### 4.6 Local Stresses at the Bow

Bending stresses of side shell plates and frames at the bow were calculated assuming the external force from the records of water pressure gages, and compared with the experimental data.

##### (a) Stresses in side shell plates

The bending stresses of side shell plates due to water pressure were calculated as a

plate without stiffeners under the following three boundary conditions:

- (i) four edges simply supported,
- (ii) supported by frames, clamped at the 2nd deck and double bottom,
- (iii) four edges clamped.

The calculated stress values were compared with the test results, and it could be noted that the test results were most concord with the values of case (iii).

(b) Stresses in frames.

The bending stresses of frames were calculated with the following three boundary conditions:

- (i) clamped at the bracket heel,
- (ii) clamped at the bracket toe,
- (iii) elastically supported at the bracket.

It was shown that the measured values were between the values with the condition (i) and (ii).

#### 4.7 Vibration of Ship

Nodal vibration of ship was observed when the ship was struck at forward bottom by slamming.

The records of deck stresses and acceleration due to slamming were compared with the records of ship's hull vibration measured when anchoring.

### 5. Conclusion

This is the summary report of experiments on the strength of ships in rough seas, using two training ships of the Institute for Sea Training, the Ministry of Transportation, S. S. "Hokuto Maru" and M. S. "Ginga Maru" during their services. Through these tests various measuring apparatus worked almost successfully and the records of slamming were obtained. It will take a long time to analyse all the test results in details, however, some valuable and interesting conclusions have been drawn out by the present analysis.

At the same time, some problems, the effective buoyancy in sea way and slamming in irregular waves etc. are still remaining as important problems to be solved in future.

## 記号一覧

### Nomenclature

波長 Wave Length	$L_w$ (m)
波高 Wave Height	$H_w$ (m)
船長 Ship Length	$L$ (m)
船速 Ship Speed	$V$ (kts)
ピッチング角 Pitching Angle	$\phi$ (°, Degree)
ヒービング Heaving Amplitude	$A$ (m)
ローリング角 Rolling Angle	$\theta$ (°, Degree)
加速度 Acceleration	$a$ (gal. cm/sec <sup>2</sup> )
水圧 Water Pressure	$p, P$ (kg/cm <sup>2</sup> ) $H$ (mH)
水位 Water Level	$W$ (m)
応力 Stress	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )
時間 Time	$t$ (sec)
周期 Period	$T$ (sec)
振動数 Frequency	$f$ (cpm, cps)
出会い周期 Period of Encounter	$T_e$ (sec)
ピッチング周期 Pitching Period	$T_p$ (sec)

# 実船航走時の強度試験

## 目 次

緒 言	( 1 )
第1章 沿革	( 2 )
1・1 本試験研究実施に到るまでの経緯	( 2 )
1・2 既往における実船航走時の強度試験	( 2 )
第2章 計画の概要	( 4 )
2・1 北斗丸試験計画の概要	( 4 )
2・2 銀河丸実験計画の概要	( 10 )
第3章 経過の概要	( 18 )
3・1 北斗丸の実験	( 18 )
3・2 銀河丸の実験	( 21 )
第4章 計測装置	( 25 )
4・1 応力測定装置	( 25 )
4・2 水圧計	( 29 )
4・3 水位計	( 33 )
4・4 加速度計	( 41 )
4・5 動揺計	( 49 )
4・6 計測用配線工事その他	( 51 )
第5章 計測結果	( 53 )
5・1 海象・気象および本船状態の記録	( 53 )
5・2 計測結果例	( 82 )
第6章 解析	( 89 )
6・1 海象および本船状態とスラミング発生状況	( 89 )
6・2 船体運動	( 93 )
6・3 水圧と水位	( 98 )
6・4 スラミングによる船体応力	( 109 )
6・5 波浪による船体応力	( 119 )
6・6 強度計算	( 125 )
6・7 船首部局部応力	( 134 )
6・8 船体振動	( 145 )
附 平水航走時の水圧分布	( 150 )
第7章 結語	( 152 )

# 実船航走時の強度試験

## 緒 言

先に日本造船研究協会第10研究部会においては、昭和28年度運輸省科学技術応用研究補助金の交付を受け、航海訓練所練習船“北斗丸”を試験船とし、諸計測装置の性能試験を主とし、あわせて航走中の船体に生ずる現象の概念を得ることを目的として、昭和29年1月13日から同30日に至る間にわが国では最初の実船についての航走時強度試験が行われた。すなわち、昭和29年1月13日から同30日に至る間に実施したものであつて、大阪～瀬戸内海～玄界灘～長崎～鹿児島～豊後水道～広島～豊後水道～東京の巡航において、約50回におよび、種々の船速および波との出会い角に対し、船体各部に生ずる応力、船首船底に働く水圧、水位、動搖、動搖に伴う加速度、船体の振動等の同時計測を行つた。

その後、第24研究部会は第10研究部会の経験を基にし、諸計測装置の改良を行い、航走時主としてスラミング時船体の受ける水圧、応力、加速度その他を実測して船体縦強度に対する動的影響及びスラミングの特性を明らかにすることを目的とし、本格的実験についての計画を進めて来たのであるが、幸にして昭和30年度運輸省科学技術応用研究補助金の交付を受け、航海訓練所の厚意により、同所の練習船“銀河丸”を試験船として昭和31年1月15日から1月18日の間に横浜～遠州灘～横浜の航海で予備実験を、引続いて同年1月20日から2月2日の2週間にわたり横浜～三陸沖～函館～三陸沖～東京の航海で本実験を行つた。

予備実験は計器の作動状態の調整を主とし、本実験は主として三陸沖で種々の海象、気象状態の下で船速及び波との出会い角を変え、船体各部に生ずる応力、船底船側特に船首船底船側に作用する水圧、水位、動搖、加速度等の同時計測を行つた。その実験回数は実に132回にも達した。

その結果、各計測装置は概して良好な作動状態を示し、スラミングに関する資料を含む数多くのデータが得られた。これらすべての資料を解析し船体縦強度に対する動的効果を明らかにし、スラミングの特性を究明するには更に多くの日数を必要とするが、今回の報告では取敢ず現在までに得られた結果について報告することにする。

なお、本試験研究に対して多額の補助金を交付された運輸省当局、試験船として練習船“北斗丸”及び“銀河丸”的使用を快諾された航海訓練所、試験実施に当たり絶大な支援協力を与えられた両試験船の乗組員各位、試験船の準備工事に種々の便宜を与えられた株式会社藤永田造船所、日本鋼管株式会社浅野船渠、試験船に取付けた諸計測装置撤去工事に御協力頂いた三菱造船株式会社長崎造船所、石川島重工業株式会社、また計測器具類を貸与された鉄道技術研究所、石川島重工業株式会社、三菱造船株式会社長崎造船所、三菱日本重工株式会社横浜造船所、株式会社共和無線研究所、三栄測器株式会社、東京大学、運輸技術研究所、機械試験所、日本海事協会並びに長期にわたる乗船を許可された計測委員の所属機関に対し厚く感謝の意を表わす次第である。

# 第1章 沿革

## 1・1 本試験研究実施に到るまでの経緯

船舶が波浪中を航走するとき、どの様な外力が働き、それによつて船体各部に如何なる応力が生ずるかは船体構造設計の合理化のためには是非必要なことである。ここに実船航走時の強度試験の重大な意義が存在するのであつて、外国に於いては古くよりこの種の実験が行われている。併し往時の実験では諸種の計測技術の水準が低く、ために得られた資料も船体構造設計に直接役立つには不充分のものが多かつた。併し最近電気的の計測方法が長足の進歩をとげ、応力測定のみならず、他の種々の現象の測定にも充分応用できる様になり、各種の現象の同時計測が可能になつた。これら新しい測定装置を用いた実船試験が外国においても行われる様になつた。わが国ではまず昭和26年度に造船協会船体構造研究委員会において進水時を利用する船体応力測定が計画され、電気抵抗線型歪計応用の動的測定装置の試作研究が行われた。ついで翌昭和27年度には本研究協会第二研究部会がその成果を引継ぎ数回の進水時応力測定を行つた。その結果この歪計が動的応力測定に充分使用出来ることが認められたので、昭和28・29両年度を期し本研究協会第10研究部会において実船航走時の試験を企図し、この歪計を利用した応力測定装置のみならず、水圧、加速度等の測定装置の試作研究を行い、昭和29年に運輸省科学技術応用研究補助金を得、航海訓練所練習船「北斗丸」で測定用計器の作動試験を主目的とし実験を行つた。引続いて昭和30年度、31年度に第24研究部会は計器の改良を行うとともにわが国では最初の本格的実船航走時の強度試験を計画し、運輸省科学技術応用研究補助金の交付を受け、昭和31年1月航海訓練所練習船「銀河丸」を試験船として、その実現を見るに至つたのである。

4

## 1・2 既往における実船航走時の強度試験

わが国においてはこの種の実験は、上述の本研究協会第10研究部会が昭和29年(1954年)に「北斗丸」について行つた予備的試験及び第24研究部会が昭和31年「銀河丸」について行つた本格的試験を除いては皆無といつてよい。わずかに昭和9年(1934年)旧海軍が主砲の弾着の散布から船体の捩れを問題として重巡洋艦について測定を行つた例があるが、これとても目的は全く違つてゐるし、測定内容も異なつてゐる。その他昭和27年(1952年)に本研究協会が「日聖丸」の試験を行つた際に応力の測定を併行して行つたことがある程度である。

外国の例では文献に現われているものとしては、1903年英國駆逐艦“Wolf”号で行われた実験が最初のものであり、デッキにおいて2カ所、バーチカルキールで1カ所、計3カ所で、ダイヤルゲージを用いた歪計で歪の計測が行われた<sup>1)</sup>。その後O. Lienau教授が1929年、わが国で開催された万国工業会議に出席の往途に、その乗船“Main”及び“Lahn”号の甲板の撓みを計測したのが報告されている<sup>2)</sup>。1934年秋にG. Schnadel, O. Lienau等が“San. Francisco”号でハンブルグからパナマ経由パンクーバーの往復航路で行つた試験は本格的な試験の最初のものである<sup>3)</sup>。この

試験においては個々に自記する応力計を用いた外、両舷の波形と船体振動の測定を行つてゐる。尚一部スラミングによる加速度と応力の変化を測定しているが、スラミングに対する本格的な知識をこれより得ることは出来ない。1935年と1936年の2回に至つて C. H. Stoks が “Beaverbrae” 号で北太西洋航路で簡単な応力測定を行つた<sup>4)</sup>。1937年の冬には、I. C. Bridge が油槽船 “San Conrado” 号で北太西洋航路で甲板の応力測定を行つた<sup>5)</sup>。1939年には W. Dahlmann が “Duisburg” 号で3方向、2方向及び1方向の機械的錠計を使用しロボットカメラで同時撮影して記録をとつた<sup>6)</sup>。

その後第2次世界大戦の影響と思われるが暫くこの種の試みはなかつた模様である。戦後においては密かではないが、1945年から1947年に至つて “Ocean Vulcan” 号により北太西洋航路8往復について行われた試験が最も大規模なものと思われる<sup>7)</sup>。この試験においては応力の外に両舷の波形(水位)、水圧、加速度、風力、トルク、主機回転数を指示する各メーターを1カ所に集めて撮影する方法で同時記録を取つた。併し、この実験に使用された諸計測装置は “San Francisco” 号の場合と同様スラミング測定用として設計されていなかつたので、17カ月に至るこの実験の間に数千回のスラミングが起つたにもかかわらず有益な資料は得られていない。又最近では1953年に発表された米国 Coast Guard Cutter “Unimark” 号により主としてスラミング時の加速度、水圧、船体応力の測定が行われその結果が一部発表されているが<sup>8)</sup>、この実験はスラミングの特性を究明することを目的とした点では貴重な実験であろう。

なお、第24研究部会が「銀河丸」について計画した実験はこの “Unimark” 号のそれと殆ど同時に企図されたものであるが、その規模は更に大きいものであり、スラミングの特性探究についての実験としては世界に誇り得る実験であると信ずるものである。

## 文 献

- 1) T. I. N. A. 1905.
- 2) V. D. I. Juli 11, 1931.
- 3) J. S. G. Nov. 1936.
- 4) Transaction of Liverpool Engineering Society Nov. 1936.
- 5) T. I. N. A. 1938.
- 6) Schiffbau 1 Jan. 1940.
- 7) T. I. N. A. 1949.
- 8) J. E. Greenspon, N. H. Jasper & J. T. Birmingham Intern. Shipb. Progress Vol. 3 No. 25 (1956).

## 第2章 計画の概要

### 2・1 北斗丸試験計画の概要

昭和 28 年度に航海訓練所の練習船北斗丸によつて行つた航走時の試験においては、次の機会に行うべき冬期北太平洋における本格的な航行時応力測定実験のために必要な計器を整備し、その性能試験をおこなうことを主目的とするものであり、併せてスラミングの衝撃圧力、並にそれに基づく応力の伝達状況をも測定せんとするものであつた。

本試験の対象となつた北斗丸は運輸省航海訓練所所属の練習船で、昭和 27 年 12 月 25 日に藤永田造船所において竣工したものである (Fig. 2・1)。

本船の主要目は次の通りである。

全長	75.500m	主機	蒸気タービン 1 基
垂線間長	68.500m	連続最大出力および回転数	1,400 BHP × 168 R.P.M.
幅(型)	11.000m	常用出力および回転数	1,200 SHP × 160 R.P.M.
深(型)	7.500m	最大速力	14.207 節
満載排水量	1,919.300t	航海速力	12.50 節
総屯数	1,631.270T	乗員数	士官 21 名、属員 42 名、学生 80 名、計 143 名
満載吃水	4.130m		

本試験においては非常に多岐にわたる測定項目を、できるだけ小人数で同時記録をとるために、すべて電気的記録方式を採用する方針で計器の試作をおこなつたが、計測の中心をなす水压と応力の測定点数は 77 点で、その内訳を Table 2・1 に、測定位置の概略を Fig. 2・2 に示す。

なお、動搖 1 点、加速度 2 点、振動 1 点 (ただし測定箇所は移動し得る)、水位 1 点の計測もおこなつた。

以下各測定計器及び測定箇所についての概要を述べることにする。

まず船体が受ける水压は外板全体にわたつて測定することが理想であるが、本試験においてはスラミングの発生に重点をおいて、船首から 0.09~0.26 L の範囲内の船首船底部に限り 12 箇所 (H 1 ~H 12) に水压計を取付けたが、H 3 は事故により測定が不可能になつたので測定点は 11 点であつた。その配置を Fig. 2・2 および Table 2・2 に示す。水压計の詳細については第 4 章に述べてあるが、計器は抵抗線歪計を貼つた受圧板の歪を測定して圧力を求める方法で、A および B 型の 2 種類を試作併用して比較試験を行つた。A 型は外板に穿つた小孔に船内から受圧板を出して外板表面と一致するようにしたもので、B 型は受圧板を船体内部におき導管で海水を導入するものである。

つぎに応力の測定はすべて抵抗線型歪計を用いた。全部で 65 点で、各歪計の損傷を防止しつつ防湿のために特に試作したプロテクターを使用したが、好成績で実験終了後撤去の際 (貼付後 80 日) にも充分絶縁を保つていた。なおダミーゲージはプロテクターのフランジの裏面にアクティブゲージと直角の方向に貼つた。測定箇所の詳細は次の通りである。

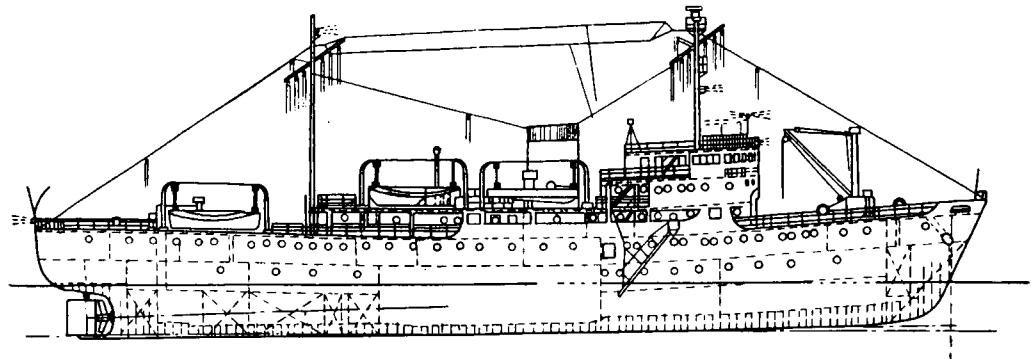


Fig. 2.1 General Arrangement of S. S. "Hokuto Maru"

Table 2.1 Principal Dimensions of "Hokuto Maru"

Length Over All	75.500m	Main Engine	Steam Turbine 1 Unit
Length Between Perpendiculars	68.500m	Maximum Continuous Power	1,400BHP×168 R.P.M.
Moulded Breadth	11.000m	Service Power & No. of Rev.	1,200SIP×160 R.P.M.
Moulded Depth	7.500m	Max. Speed	14.207 knot
Full Load Displacement	1,919.300 t	Service Speed	12.50 knot
Gross Tonnage	1,631.270 t	No. of Crew	Officer 21 P. Crew 42 P. Student 80 P.
Full Load Draft	4.130m		Total No. of Crew 143P.

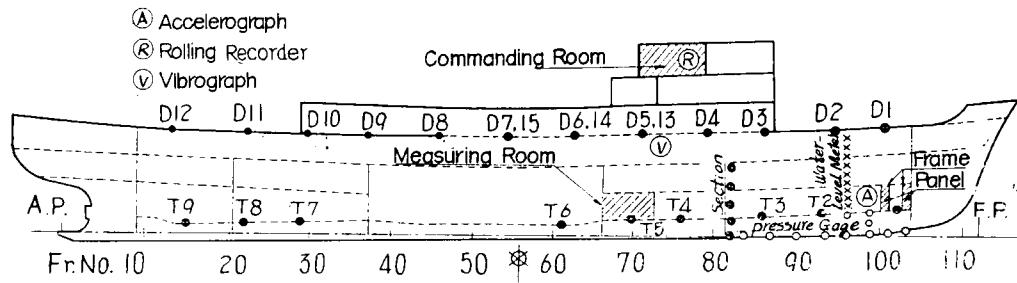
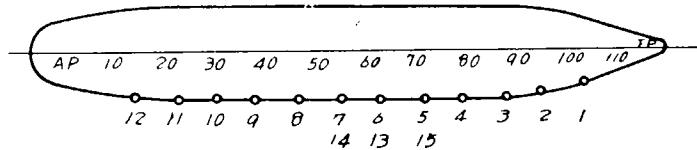


Fig. 2.2 Location of Measurement (Hokuto Maru)

Table 2.2 Item of Measurement (Hokuto Maru)

Item	Notation	No. of Measuring Points	Item	Notation	No. of Measuring Points
Water Pressure	H	12	Rolling	R	1
Stress		65	Acceleration	A	2
Shelter Deck	D	15	Vibration	V	1
Inner Bottom Plate	T	9	Water Level	W	1
Section	S	7	Partial Sum		5
Frame	F	14			
Panel of Shell Plating	P	20			
Partial Sum		77			
Total			82		

縦方向の応力分布を測定するために Fig. 2・3 および Table 2・3 に示す如く、船の遮浪甲板上全長にわたつて 12 箇所 (D 1~12) 右舷の梁上側板の下面に縦方向に歪計を貼つたが、中央部の 3 箇所 (D 13~15)だけは上面即ちガッターに貼つた。この 3 箇所は屢々水に洗われる所以、特にプロテクターの上にピッチを流して防湿に努めたが、ピッチを流したときの高温による歪計の損傷はみとめられなかつた。



15 点のうち 3 点のみは甲板上面に、他の 12 点は下面に貼付する。

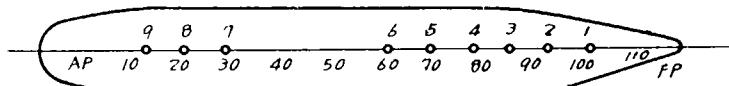
ゲージは、遮浪甲板の Side Stringer の下面、該当肋骨位置より船首方向へ 120 mm の位置とする。

Fig. 2・3 Arrangement of Wire Strain Gages (Hokuto-Maru) (Shelter Deck, Full Length—Starboard)…15 points

Table 2・3 Arrangement of Wire Strain Gages (Shelter Deck) (Hokuto-Maru)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Protector No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	64	65	66
Lead Wire No.	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
Position	Fr. No.	101	94	85	78	70	62	54	46	37	30	22	14	62	54
	Crew's W.C.	carp. mess r.	Crew's engin. enginr.	3rd. enginr.	2nd. enginr.	passage	work shop		lecture r.		No. 1 cadet r.		gutter (upper side)		
Length of Lead Wire (m)	50	50	50	50	50	50	70	70	70	70	80	50	50	70	

内底板上の応力測定は甲板の場合と同様に、Fig. 2・4 および Table 2・4 に示すごとく船の全長にわたつて 9 箇所 (T 1~9) 内底板上に縦方向に歪計を貼つて行つた。これは甲板における 12 箇所に対応する位置で竜骨上面で測定する予定であつたが、本船では二重底はすべてタンクに使用しているため、止むを得ず内底板上面中心線上で測定することとしたが、機関配置のため全部はとれず 9 箇所になつた。歪計貼付に際してとくに油や水の溜るボイラーの下 (T 6) および車軸室 (T 7~9) においては注意を払つた。



ゲージは内底板上中心線に沿うて貼付する。(但し鎮の中心より 150 mm 右舷寄り)

No. 6 のみ肋骨位置より 120 mm 船尾方向へ、他は船首方向へ 120 mm の位置とする。

Fig. 2・4 Arrangement of Wire Strain Gages (Inner Bottom Plate, Full Length—Center line)…9 points

Table 2・4 Arrangement of Wire Strain Gages (Inner Bottom Plate)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Protector No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lead Wire No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Position	Fr. No.	102	94	86	76	70	62	29	22
		cargo hold			passage		boiler lower side	shaft tunnel	
Length of Lead Wire (m)	50	50	50	50	50	70	70	70	80

横断面における応力分布を測定するため Fr. 82 より前方 120mm の横断面上で竪骨から右舷舷側外板を絶て上甲板までFig. 2・5 および Table 2・5 に示すごとく 7 箇所 (S1~7) に縦方向に歪計を貼つた。

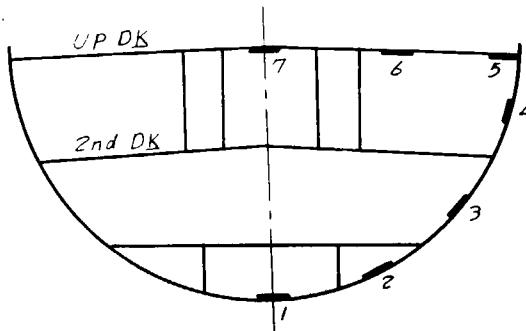


Fig. 2・5 Arrangement of Strain Gages (Hokuto Maru) (Section Fr. 82)

Table 2・5 Arrangement of Wire Strain Gages (Hokuto Maru) (Section)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7
Protector No.	57	58	59	60	61	62	63
Lead Wire No.	57	58	59	60	61	62	63
Position	cofferdam		cargo hold	quarter master			
Length of Lead Wire (m)	50	50	50	50	50	50	50

また船首部船底において衝撃的水圧をうけるときの局部強度をしらべるために、船首隔壁のすぐ後方にある Fr. 101 および Fr. 103 を選び、Fig. 2・6 および Table 2・6 に示すごとく、いずれも内底板

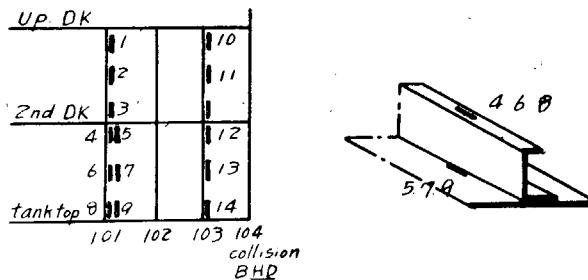


Fig. 2・6 Arrangement of Strain Gages (Hokuto Maru) (Fr. 101, 103)

Table 2・6 Arrangement of Wire Strain Gages (Hokuto Maru) (Frame)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Protector No.														
Lead Wire No.	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Fr. No.	101										103			
Position	crew's bag store					cargo hold					crew's bags.		cargo hold	
	Flange		Flange	Shell Plate	Flange	Shell Plate	Flange	Shell Plate	Flange					
Length of LeadWire (m)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

から上甲板までの間の 6 箇所 (Fr. 103 は 5 箇所) で、球山形鋼のフランジ上面に歪計を貼つたが、Fr. 101 では下方の 3 箇所だけ前記歪計に対応する位置で肋骨に接した外板にも貼つた (F. 1~14)。

最後に衝撃的水圧をうけるときの外板パネルの応力分布を測定するため Fig. 2-7 および Table 2-7 に示すとく、前記の肋骨および第 2 甲板と内底板を三辺に、他の一辺を応力計測しない肋骨によりかこまれた Fr. 100~101 間および Fr. 103~104 間の外板パネル上に 5 箇所ずつ選び歪計はいずれも縦横 2 方向に貼つた (P. 1~20)。

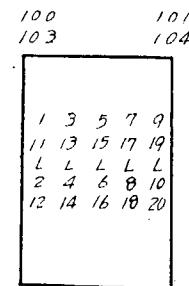


Fig. 2-7 Arrangement of Strain Gages (Panel, Fr. 100~101, 103~104)

Table 2-7 Arrangement of Wire Strain Gages (Hokuto Maru) (Panel)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Protector No.	37		39		41		43		45		47		49		51		53		55	
Lead Wire No.	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
Position	Fr. No. 100~101										103~104									
Direction		-		-		-		-		-		-		-		-		-	-	
Length of Lead Wire	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	

| Vertical, — Horizontal

以上の外、船の運動状況を求めるために動搖、加速度、振動の測定を行つたが、動搖については水圧や応力と同様に電気的計測をする予定であったが、計器試作が間に合わず機械的装置を用いた。スペリーのジャイロ式と振子式の 2 型式を併用したが、いずれもペン書きで前者は縦搖と横搖とが同時に記録でき、後者はいずれか一方だけを記録するもので、これらは海図室の机上に設置した。

加速度を測定するために試作された加速度計は、先端に重錘をつけた片持梁に抵抗線型歪計を貼つたものを、シリコン油を満たした小箱中に封入したもので、2 方向の加速度が測れるものを試作した。またこれに二重積分回路を附属させ変位計としても使用する予定であったが、増巾器不調のため試みることが出来なかつた。測定位置は Fr. 60 で内底板上で船体中心線上、および Fr. 103 で第 2 甲板下面、船体中心線から右舷に 1.6 m の 2 箇所である。

振動計としては上記加速度と同様、抵抗線型歪計をピックアップとしたものを試作し、遮浪甲板上の任意の箇所で隨時、振動を測定した。

また、船と波面との相対位置を知るために船の全長にわたつてウェーブ・プロフィルを求める必要があるが、今回は試験的に右舷 Fr. 95~96 間に 1 箇所だけの水位を測定した。水位計は船側に沿つて 9 箇の接点を設け、没水による短絡電流によつて階段的に水位を知る方式のもので、応力などと同時記録がとれるように試作したものである。

最後に船の主機回転数、速力、針路、船位等の測定及び風向、風力、波長、波高、水深、水温、気温などの測定は船側および練習生の協力によつた。

実験方法としては比較的短い航海で、しかも近海の多種多様な海面条件のため統計的な記録は求むべくもなかつたが、なるべく系統的な資料がえられるように機会ある毎に荒天を選んで、速力や波に対する船の角度などを階段的に変えて合計約50回実験をおこなつた。

前述のように遠隔測定と同時記録を目的として、ほとんどすべて電気的計測によりオッショグラフで記録する方針をとつたが、各測定点に対し、各個の増幅装置や記録装置を附属させることは経済的に許されないので、測定点を5~6ずつの群にわけ順次切換え6回で1巡するようにした。各回の計測時間は約30秒で、切換時間その他を入れて7~10分間で一回の実験を終了するようにした。本試験には記録装置として、水圧、応力、加速度、振動測定用に6エレメントの動的歪計DMを3台、および電子管切換型歪計1台を使用した。

オッショグラフは電磁型6エレメントと15エレメント各1台と、今回試作した電子管切換方式のプラウン管オッショグラフ1台合計3台を使用した(Table 2-8)。電子管切換方式のものは2000サイ

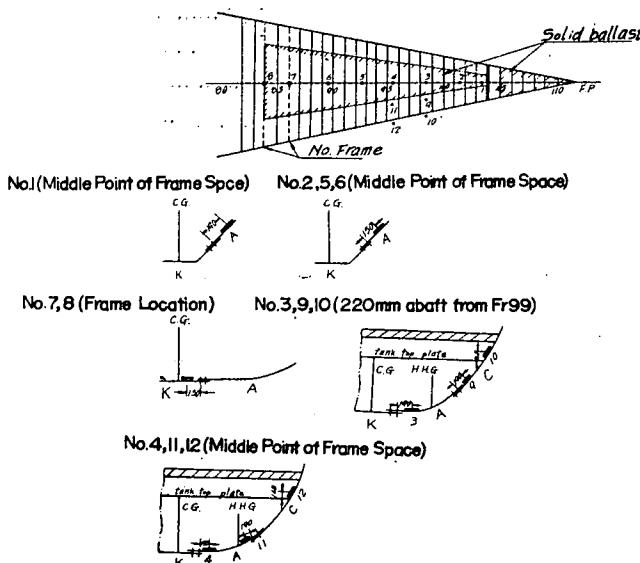


Fig. 2.8 Arrangement of Pressure Gages (Hokuto Maru) (Bow Bottom)

Table 2-8 Arrangement of Pressure Gages (Hokuto Maru)

Gage No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Protector No.												
Lead Wire No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Position	Fr. No.	103~104	101~102	98~99	95~96	92~93	89~90	86	84	98~99	98~99	95~96
	Side	Starb.	Port	Starb.	Port	Starb.	Port	Starb.	Port	Starb.	Starb.	Starb.
	Strake	A	A	A	A	A	K	K	C	C	A	C
Type of Pressure Gage	A	B	A	A	B	B	B	A	A	B	A	A
Length of Lead Wire (m)	70	70	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Remarks	Measurement failed at No. 3 because of accident.											

クルで 5 点切換をおこなう電子管を用い、1 箇のブラウン管に 5 つの映像を映すことができるものである。螢光面には 5 つの光点が現われて現象に応じて個々に上下するのを 35 mm カメラでフィルムを一定速度で送りながら撮影するものである。

計測室は食糧庫を改造したもので (Fig. 2-2), 電気的計測によるものはすべてこの部屋に集めた。計器の配置を Fig. 2-9 に示す。測定点からの導線はすべてシールドキャブタイヤを使用し、電子管切換の記録装置に入る 20 点分は水密隔壁を貫通させた。ほかは全部測定点から一旦遮浪甲板下面までひきあげて迂回配線したので最長のものは 100 m 程度になつている。

外界条件の観測と船側との連絡の便をはかつて船橋にある海図室 (Fig. 2-2) に実験指揮所をおき、機械的な動搖記録装置はここに設置した。指揮所と計測室との連絡は直通電話とブザーとによつた。

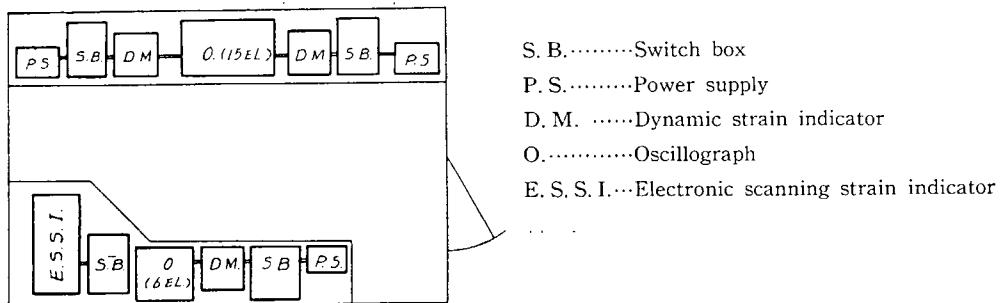


Fig. 2-9 Arrangement of Instruments in the Measuring Room

Table 2-9 Assignment Table of Recording Apparatus (Hokuto Maru)

Measuring Item \ Recording Apparatus	Self-Recorder	15 El. Osc.	6 El. Osc.	5 El. E.S.S.I.	Total
Pressure Gage	H		12		12
Shelter Deck	D		15		15
Inner Bottom Plate	T			9	9
Section	S		7		7
Frame	F			14	14
Panel	P			20	20
Rolling Meter	R	3			3
Accelerograph	A		2		2
Vibrograph	V		1		1
Water-Level Meter	W			1	1
Total		3	37	24	84

## 2・2 銀河丸実験計画の概要

実験に使用した“銀河丸”は元貨客船“雲仙丸”を改装して、昭和 30 年練習船となつたもので、主として鉄接で構造せられたものである。改装後の“銀河丸”的写真を Fig. 2-10, 要目を Table 2-10 に示す。

測定位置の概略は Fig. 2-11 (a), (b), (c) に示す通りである。応力の計測については、波浪中で受

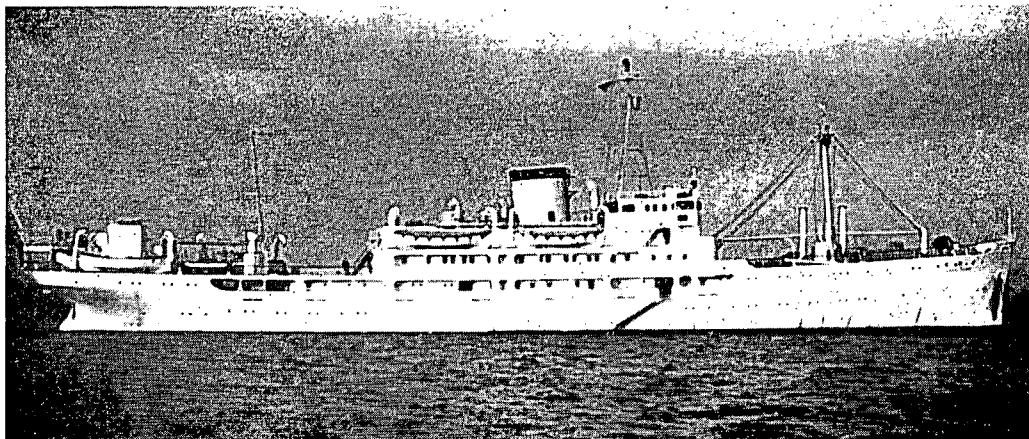


Fig. 2·10 Photograph of M.S. "Ginga Maru"

Table 2·10 Principal Dimensions (Ginga Maru)

Length Between Perpendiculars	92.000 m	Radius of Action	about 10,000 nautical miles
Moulded Breadth	14.500 m		
Moulded Depth	7.400 m		
Draft (Mld.)	5.100 m		
Gross Tonnage	3,170 Ton		
Navigation Area	Ocean going	Main Engine	YOKOHAMA MAN G 6 Z 52/70
Speed { Trial	14.12 knot	Diesel Engine 1 unit	
Service	12.00 knot	Max. Continuous Power	2100BHP × 190 r.p.m.

ける曲げモーメントの長さ方向の分布を求めるために上甲板右舷に 6 点の歪計測点を配置し、船体断面に於ける応力分布を見るために中央横断面附近右舷に 11 点、船首パネルの局部応力を求めるために 16 点の歪計測点を配置した。

船体の受ける水圧を測定するために水圧計を配置したが、スラミング計測に重点をおき船首船底部には密に配置した。

動揺測定にはエアジャイロ式の人工水平儀を用い、ローリングとピッキングの角度を電気量に変えて計測した。設置場所は船体中央よりやや前方のジャイロルームで、ヒーピングは加速度計に積分回路を接続して計測した。

加速度計は船首に 2 個、船体中央、船尾に各 1 個を配置した。

舷側におけるウエーブ・プロファイルを求めるために、外板のガースにそつて、それぞれ 8 個の接点を持つた水位計を 6 セクション、両舷 12 カ所に適当な間隔で配置した。

以上の各種の測定ができるだけ少人数で行ない、しかも同時記録をとるため、すべて電気的計測記録方式を採用することにした。各計測点と增幅器、記録器の組合せを Table 2·11 に示す。使用した計測器は電気抵抗線型動的歪測定器 12 点用 1 台、同 6 点用 7 台、同 3 点用 1 台、電子管切換式抵抗線歪測定器 10 点用 2 台、二重積分装置 1 台であつて、記録器としては電磁オッショ 12 点用 6 台、プラウン管オッショ 10 点用 2 台、16mm 撮影機 1 台を使用した。これらは上甲板右舷の計測定に集められ、動揺、振動に対して支障のないように固定した。計測室内の配置図を Fig. 2·12、計測室内の写真

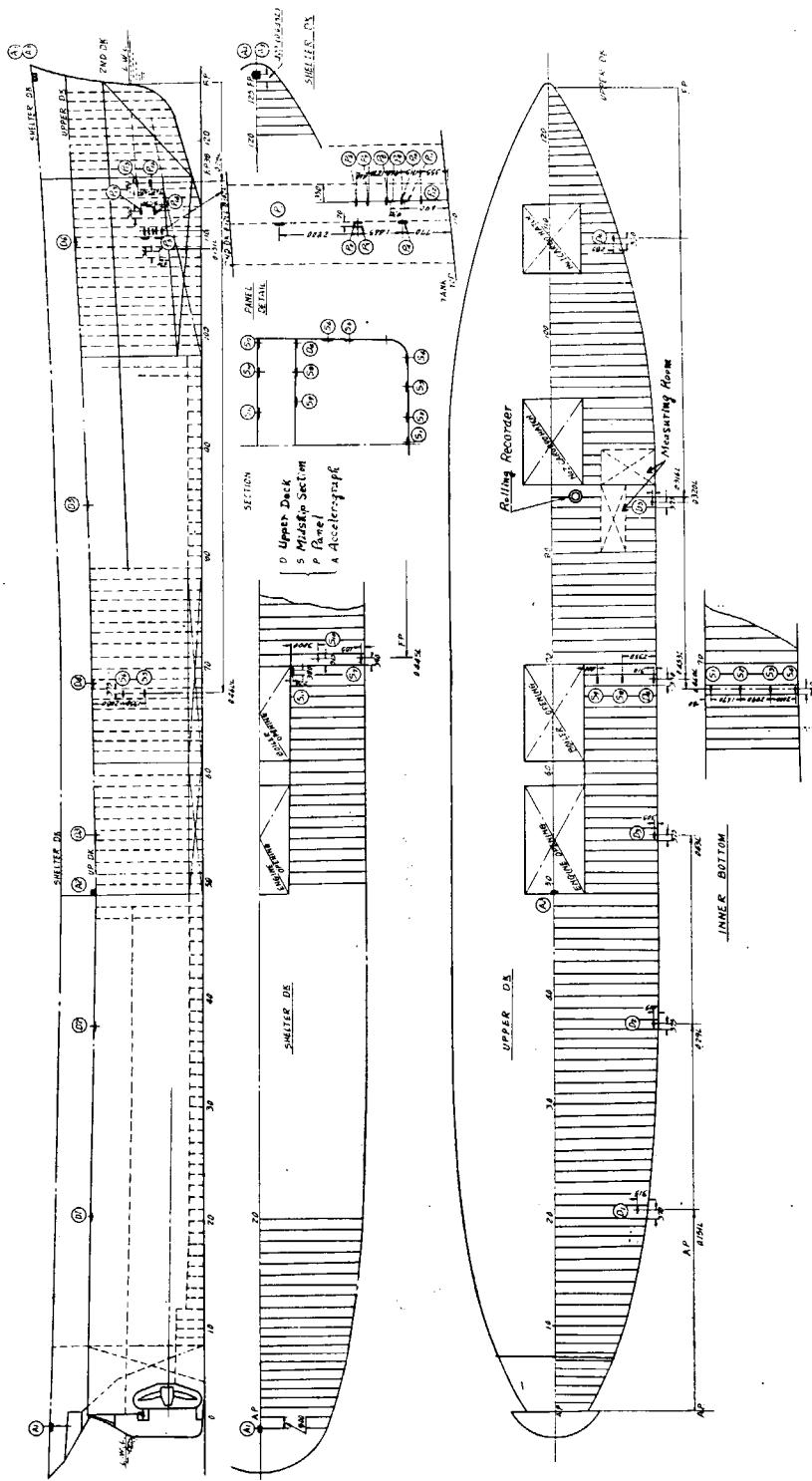
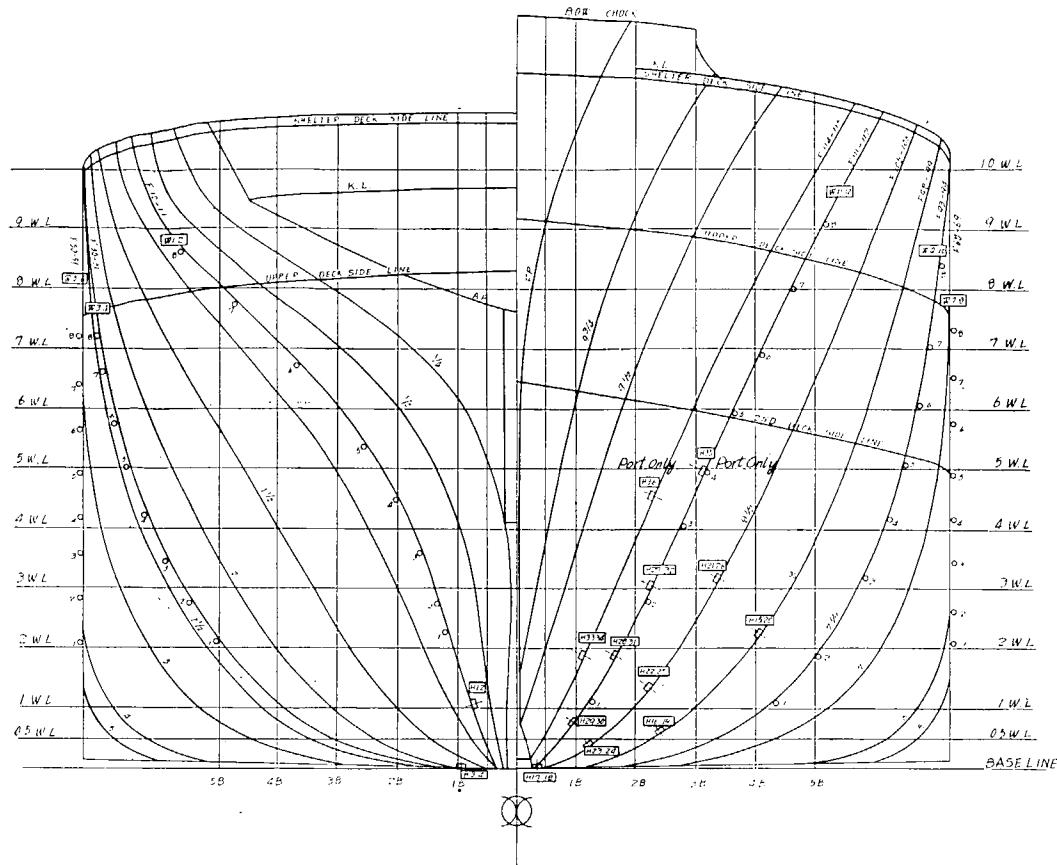


Fig. 2.11 (a) Arrangement of Strain Gages, Accelerographs and Rolling Recorder (Ginga Maru)



Arrangement of Pressure Gages

Height of Pressure Gages from Base Line (unit m)

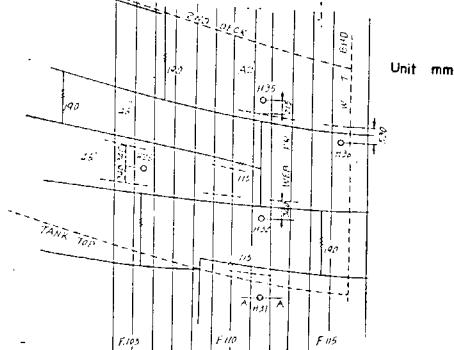
H 1	1.06	H 11	0	H 21	3.19	H 31	1.86
H 2	1.06	H 12	0	H 22	1.38	H 32	3.04
H 3	0	H 13	0	H 23	0.38	H 33	1.90
H 4	0	H 14	0	H 24	0.38	H 34	1.90
H 5	0	H 15	2.26	H 25	1.38	H 35	4.98
H 6	0	H 16	0.60	H 26	3.19	H 36	4.54
H 7	0	H 17	0	H 27	3.04		
H 8	0	H 18	0	H 28	1.86		
H 9	0	H 19	0.60	H 29	0.73		
H 10	0	H 20	2.26	H 30	0.73		

Arrangement of Water-Level Meters

Height of Contact Points from Base Line (unit m)

	W-1, 2	W-3, 4	W-5, 6	W-7, 8	W-9, 10	W-11, 12
8	8.65	7.20	7.20	7.30	8.40	9.15
7	7.75	6.60	6.40	6.50	7.05	8.20
6	6.75	5.75	5.65	5.75	6.05	7.00
5	5.40	5.05	4.95	4.90	5.05	6.00
4	4.50	4.25	4.20	4.15	4.20	4.97
3	3.60	3.50	3.60	3.40	3.20	4.03
2	2.75	2.80	2.85	2.60	1.90	2.80
1	2.26	2.15	2.10	2.05	1.15	1.12

Arrangement of Pressure Gages Near the Bow.



Detail of Arrangement of a Water-Level  
Meters and a Pressure Gage between Fr. 111

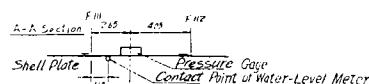


Fig. 2-11 (b) Arrangement of Pressure Gages and Water-Level Meters (Ginga Maru)

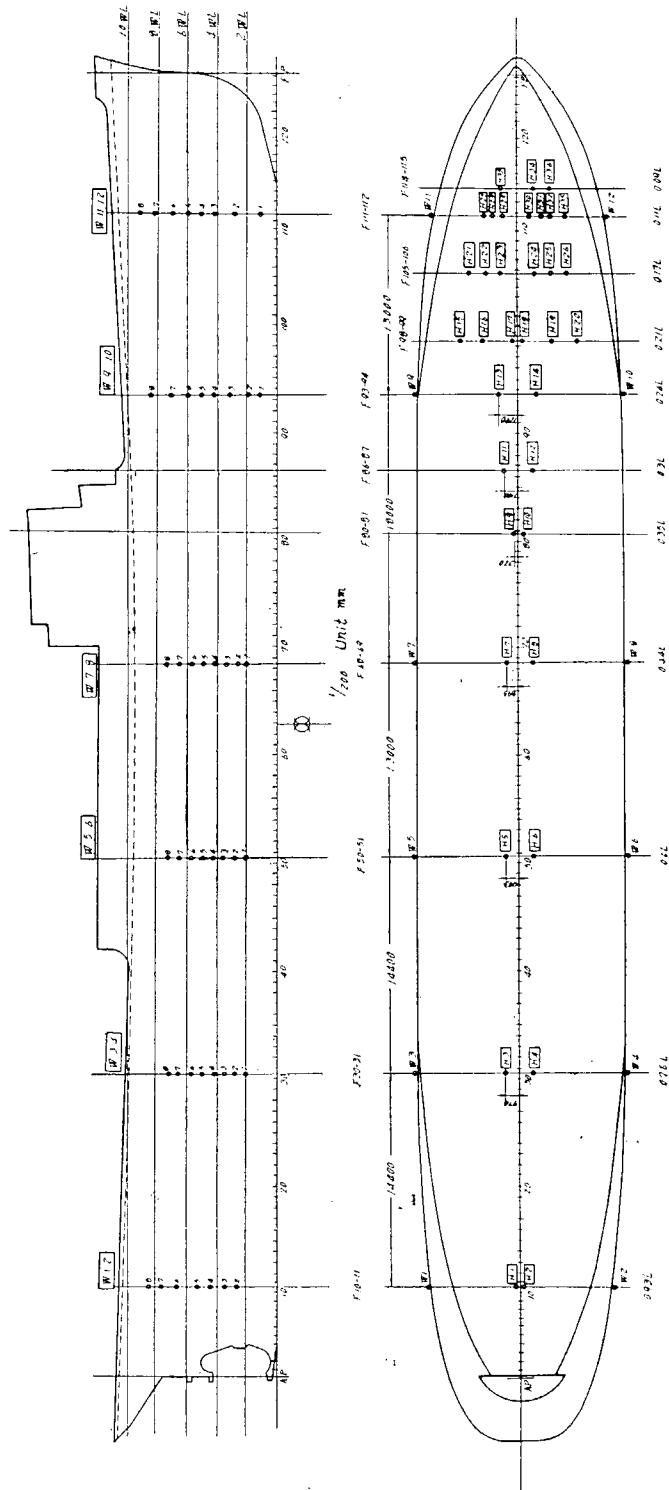


Fig. 2.11 (c) Arrangement of Water-Level Meters (Ginga Maru)

Table 2-11 Arrangement of Measuring Instruments (Ginga Maru)

Item	Point	Measuring Instrument			Osc.	
Upper Deck Midship Section	6	Unken	D P M	6	Unken	12 el.
	11	Yokohama	DM	5	Unken	12 el.
		Tōdai	DM	6		
Rolling Recorder	2					
Panel		Unken E.S.S.I.		10	Braun Tube	10
		"		10	"	10
Pressure Gage		N. K.	DM	6	Tōdai	12 el.
		Tōdai	"	6	Seiken	"
		Tōdai	"	6	N. K.	"
		Kikai Sikenjo	D P M	12	Sanei	"
		Kyowa	DM	6		
Accelerograph		Rikoken Integrator		1		
		Unken	DM	3		
Water-Level	12	16 mm Camera				

Unken: Transportation Technical Research Institute.

Tōdai: Tokyo University.

Yokohama: K. K. Mitsubishi Japan Heavy Industry, Yokohama Shipyard.

Rikoken: Institute of Science and Technology, University of Tokyo.

Kikai Sikenjo: Government Mechanical Laboratory.

Table 2-12 Arrangement of Junction Boxes (Ginga Maru)

Junction No.	Position	No. of wires	contents
1	Shaft tunnel rear end (Fr. 20)	4	H 1~4
2	Engine room rear end (Fr. 48~49)	2	H 5~6
3	Rice store (Fr. 83~84)	4	H 9~12
4	No. 2 Hold fore end (Fr. 97~98)	2	H B~14
5	No. 1 Hold rear end (Fr. 98~99)	12	H 15~26
6	No. 1 Hold fore end (Fr. 115~116)	26	H 27~34, P 1~18
7	No. 2 Lecture room (Fr. 35)	2	D 2 spare 2
8	Cadet's room (Fr. 84)	2	D 5 spare 4
9	Sailor's room (Fr. 99)	2	D 6 spare 1
10	No. 2 Oiler (Fr. 19)	(4) <sup>5</sup>	D 1 W 4 A 1' A 1 W 2
11	No. 1 Lecture room end Bhd (Fr. 29~30)	(2) <sup>4</sup>	W 1, 3 W 1', 3'
12	" (Fr. 29~30)	2	W 2, 4
13	Cadet's W. C. end Bhd (Fr. 48~49)	(1) <sup>2</sup>	W 6, W 6'
14	Galley end Bhd (Fr. 52~53)	(1) <sup>2</sup>	W 5, W 5'
15	Motor opening casing (Fr. 68)	(20) <sup>21</sup>	S 1~9 H 7, 8, 35 L 1 Y 1 A 2' D 3~4 A 2 W 1 R 1 Spare 3
16	" (Fr. 68)	2	S 11, 12
17	Nurse room end Bhd (Fr. 85, 86)	(3) <sup>6</sup>	W 7, 9, 11 W 7', 9', 11'
18	Cadet's office end Bhd (Fr. 85~86)	(4) <sup>6</sup>	W 8, 10, 12 W 8', 10', 12'
19	Boat's store end Bhd (Fr. 125~126)	(1) <sup>2</sup>	A 3, A 3'

A1', A2', A3', W1', W3', W5', W6', W7', W8', W9', W10', W11', W12': Spare

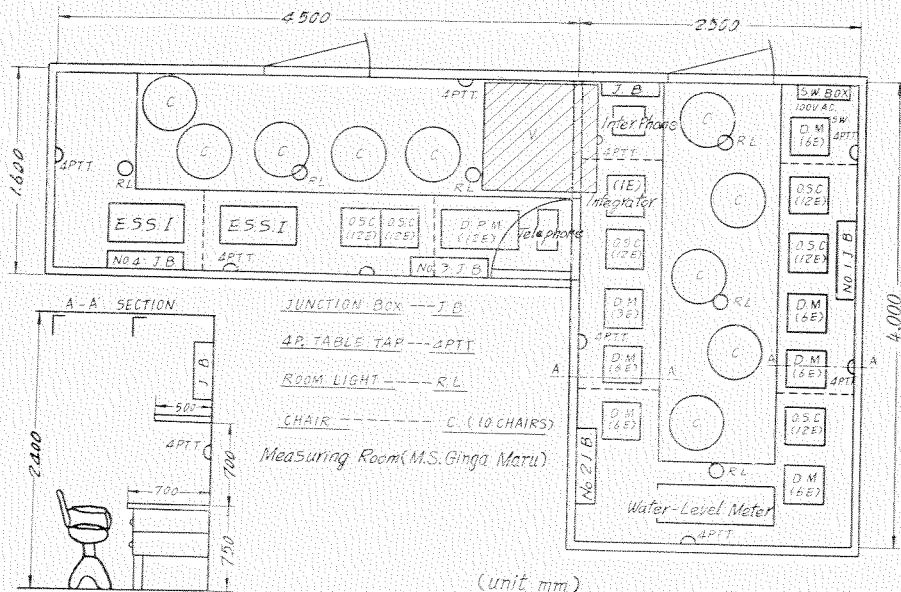


Fig. 2-12 Arrangement of Measuring Instruments

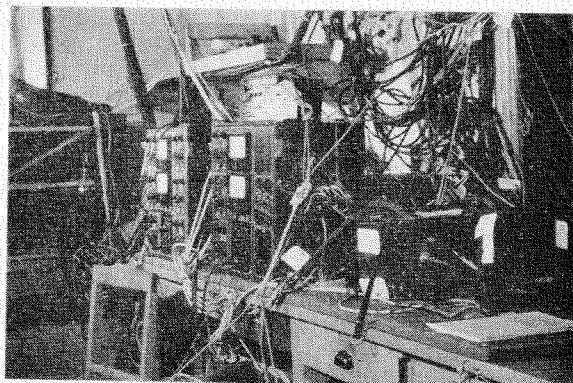


Fig. 2-13 Fastening of Instruments in Measuring Room (Ginga Maru)

を Fig. 2-13 に示す。

計測に当つては、船橋からのインターホーンによる合図で計測室の記録器のモーターをスタートし、各計測点の識別記号、較正記号を入れた後、船橋にある電接時計のスイッチを入れてリレー装置を働かせ、タイミングと同時マークが各記録器に入るようとした。

各計測点附近に合計 19 個のジャンクション・ボックスをおき、各計測点からの配線は一部の例外を除いては、すべてこのジャンクション・ボックスのいずれかに入るようにし、ジャンクション・ボックスと計測室の間の配線は 4 心シールドキャップタイヤコードを用いて順序よくまとめ頑丈に船体に固定した。ジャンクション・ボックス配置を Table 2-12 に示す。

風向、風速、風波とうねりの方向、波長、波高、気温、気圧、海水温度と比重、船の位置、針路、船速、主機回転数など、本実験に対する外界条件は銀河丸の乗組員および練習生の協力によつて計測願うこととした。

当初の計画では1組の計測シリーズとしてある海面の状態に対して、主機回転数は160, 130, 110, 70 rpm の4種、波に対する方向は向波、右舷45°、左舷45°、追波の4種について、おのおの2分間行う予定であった。しかし実際に、洋上に於て荒天時に回転数を落すことは機関停止のおそれがあり、回頭も危険であるとのことで、追波ではほとんどスラミングを生じないので、回転数は175 rpm を加えて状況により低回転数の実験を除き、追波以外の3方向を主として計測することに計画変更を行なつた。海上状態が比較的おだやかなときは09・30と13・30の定時刻に、160 rpm 向波の実験のみを行なうこととし、夜間は波の観測が不正確になるので、原則として行なわないこととした。

## 第3章 経過の概要

### 3・1 北斗丸の実験

実験の準備は昭和27年度の進水計測の委員会（第二研究部会第一小委員会）から構想を練り、計器を試作し実用試験を行つた。また航走中の実船において行う計測上特に注意すべき点を体験するため、昭和28年6月17日東京を出港、翌18日大阪に入港した北斗丸に竹鼻、長沢両委員が乗船して調査を行つた。その結果、諸計測に使用する電源は船内電源で充分であることが確認された。

昭和28年6月29日に委員の委嘱があり、数回の委員会、その他の打合せ会を経て昭和28年11月29日計測最終案を審議、同年12月8日に決定をみた。

実験に必要な船体工事、配線工事は藤永田造船所において12月5日から23日に到る間に完了したが、この間本委員会より乗船委員等も参加して手落のないように工事を実施した。

北斗丸実験に乗船した委員は次の通りである。

佐 藤 正 彦	日本海事協会
安 藤 良 夫	東京大学生産技術研究所
高 橋 幸 伯	同
竹 鼻 三 雄	同 理工学研究所
三 波 建 市	同 工学部
池 田 一 夫	運輸技術研究所船舶構造部
長 沢 準	同
石 山 一 郎	同
宝 田 直 之 助	浦賀船渠株式会社浦賀造船所

このほか委員外であつたが、下記原田氏が特に参加した。

原 田 光 雄 三菱造船株式会社長崎造船所

上記のうち、安藤委員は鹿児島—東京、高橋委員は大阪—鹿児島および広島—東京、竹鼻委員は大阪—広島間を乗船し、他はすべて全航程に乗船した。

昭和29年1月9日～12日に計器の搬入準備を完了した。航路の主要部はFig. 3-1に示す。

#### 3・1・1 航海並びに実験日程

1月13日（雨）（航海）

09.00 藤永田造船所の岸壁をはなれて、待望の試験航海の途につく。

11.45 和泉灘で第1回計測、各装置とも作動状況は概して良好であるが、零点漂動するものが若干あつた。

17.00 草壁入港

1月14日（曇）（草壁碇泊）

1月15日（晴）（航海）

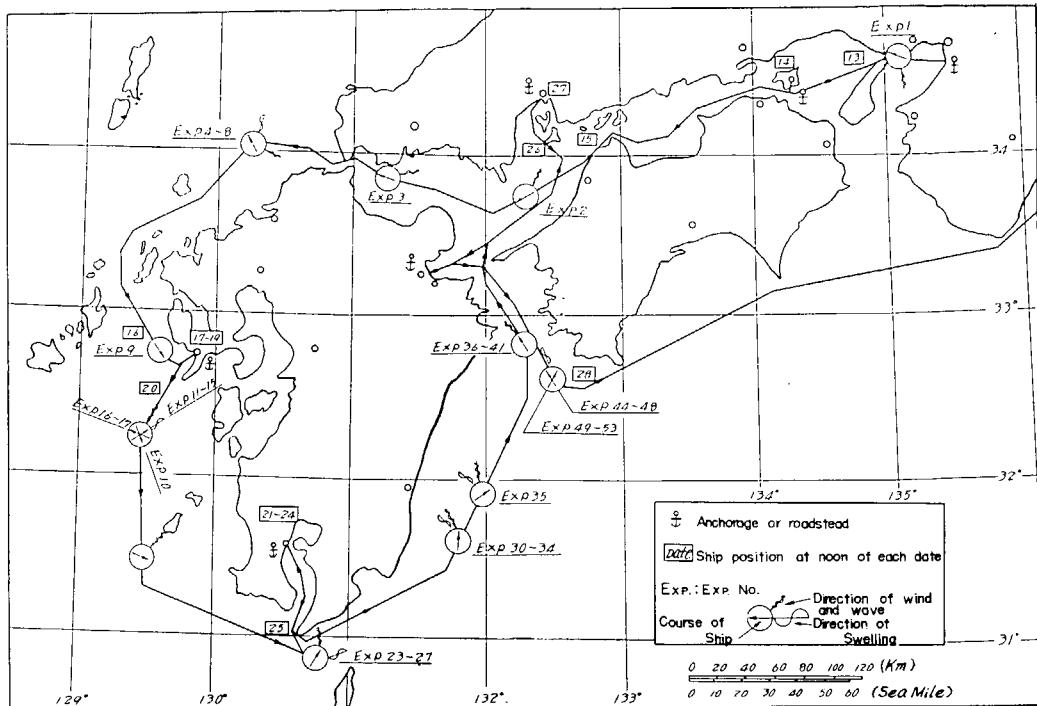


Fig. 3-1 "Hokuto Maru" Sailing Route

- 06.00 草壁出港、長崎へ向う。天気晴朗で波穏か、まことに快適な航海である。
- 15.15～15.25 伊予灘で第2回の計測を行う。
- 19.00～19.08 周防灘で第3回の計測を行う。
- 21.15 関門海峡を通過。
- 1月 16 日（曇）（航海）  
00.05～00.55 波は、はげしくなる気配がないが予定の計測をする。  
12.40～12.48 長崎沖で第9回の計測を行う。  
14.30 長崎港出島岸壁に繫留される。
- 1月 17 日～19 日（長崎碇泊）
- 1月 20 日（曇時々雨）（航海）  
09.00 長崎出港、鹿児島に向う。  
13.30 野母崎南西方で波浪観測のため停止し、約30分間漂泊する。この間を利用して漂泊時の計測（第10回）を行う。
- 14.02～14.50 第11～15回の計測を行う。
- 15.08～16.03 第16～17回の計測を行う。
- 19.00 <sup>ヨシキ</sup> 甑列島南西約12浬に到る。海面は依然として大したことはないが第18～22回の計測を行う。
- 1月 21 日（晴）（航海）  
大隅半島の南端を通過し日向灘へ出る。かなりのうねりがあり船首で砕ける波のしぶきが操舵室の窓をうち、縦搖が相当はげしいので、つかまらないと歩きにくい。

02・00～02・41 第23～27回の計測を行う。この間第24回の計測中スラミングらしいものを感ずる。

10・00 鹿児島港防波堤外に投錨する。

1月22～24日 (鹿児島碇泊)

1月25日 (晴) (航海)

09・00 鹿児島出港広島へ向う。

19・06～19・47 第30～34回の計測を行う。この間動搖相当はげしく、机上の器物が落下する。

21・11～21・28 第35回の計測を行う。

1月26日 (晴) (航海) 払暁、豊後水道にかかる。

04・08～04・45 第36～40回の計測を行う。

04・56～05・11 第41回の計測を行う。

15・00 広島(宇品)へ入港し投錨する。

1月27日 (晴) (航海)

16・00 広島を出港し、別府経由で東京へ向う。

24・00 別府沖に投錨し仮泊する。

1月28日 (薄曇) (航海)

08・00 別府を抜錨し一路南下する。この日は豊後水道沖で練習船海王丸と落ち合ひ我々の計測に併行し、海王丸から本船の運動状況、特にウェーブ・プロファイルを撮影する予定である。

12・00 海王丸に追いつく。

12・52 海王丸の右舷約300メートルで計測態勢に入るも呼吸合わずミス。本船は大きく旋回して、海王丸右船尾から、再び計測位置に入る。

13・02～13・09 第44回を行う。

14・21 第48回を終了し正向波の分を終る。

針路を転じ、向波左45°とし、低速から計測に入る。

14・56～15・22 第49～53回を計測する。

今回の計測は前後約3時間要したが、その間風は特にはげしく、海上一面に泡立ちし、海に慣れぬ目には怖しささえ感ずる様相を呈した。風速は最高41.5m/sを記録し、今までにくらべ波長も比較的長く(約40メートル)かなり好条件に恵まれた。

1月29日 (晴) (航海)

08・00 潮岬沖通過。

1月30日

06・30 観音崎燈台沖を通過し09・30には東京湾のブイに繫留される。

14・30 退船する。

2月2日～4日 計器を揚陸する。

3月8日～11日 歪計を撤去する、この時絶縁抵抗を測定した。

昭和29年2月以降昭和30年3月に至る間、数回の委員会その他の会合により、主として乗船した委員によつて資料の整理解析を行つた。

### 3・2 銀河丸の実験

北斗丸につづいて銀河丸の実験が昭和30年1~2月におこなわれた。

昭和30年8月25日に委員の委嘱があり、数回の委員会その他の打合せ会を経て、同年10月3日に計測最終案を審議し、同年12月10日に決定をみた。

実験に必要な船体工事および配線工事は、日本鋼管浅野船渠において12月23日から翌1月8日にいたる間におこなつたが、この間本委員会より乗船委員等が参加して工事に万全を期した。計器類は実験前の昭和31年1月7日迄に搬入し実験準備を行つた。

実船試験は予備試験および本試験の2航海にわかれておこなわれ、その航路はFig. 3・2に示す通りであり、また乗船した委員はつぎの通りである。

安藤 良夫	東京大学生産技術研究所	(本試験, 予備試験)
池田 一夫	運輸技術研究所船舶構造部	(本試験, 予備試験)
石山 一郎	" "	(予備試験)
金沢 武	東京大学工学部	(予備試験)
高橋 幸伯	東京大学生産技術研究所	(本試験, 予備試験)
宝田直之助	浦賀船渠株式会社浦賀造船所	(本試験, 予備試験)
竹鼻 三雄	東京大学理工学研究所	(本試験, 予備試験)
長沢 準	運輸技術研究所船舶構造部	(本試験)
三波 建市	東京大学工学部	(本試験, 予備試験)

このほか委員外の下記三名が特に参加した。

故石 黒 忍	運輸技術研究所船舶構造部	(本試験, 予備試験)
小川 鉱 一	東京大学工学部	(本試験, 予備試験)
林 博	運輸技術研究所船舶構造部	(本試験)

#### 3・2・1. 予備試験 (実験番号 1~25)

1月15日 (晴)

10・00 横浜を出港し、予備試験航海の途につく。本船は一日中東京湾内を航行する。

19・25 船橋沖で計測の予行演習をおこなう。

1月16日 (晴)

本船は東京湾を出て西に向う。

08・35~10・39 駿河湾口で実験番号1~16の計測をおこなう。

13・32~13・34 御前崎西南西10哩で計測する (実験番号17)。

17・00 本船は伊勢湾口に到達し反転して東京湾に向う。

1月17日 (晴)

朝早く東京湾口に到達する。

09・15~11・43 館山沖で実験番号18~25の計測をする。

15・00 横浜港へ入港して予備試験航海を終了する。

予備試験では船体の動搖が軽微でスラミング現象はみられなかつたが、各計測員が計測及び船に馴れ、計器の調整も充分におこなうことができて有益であつた。

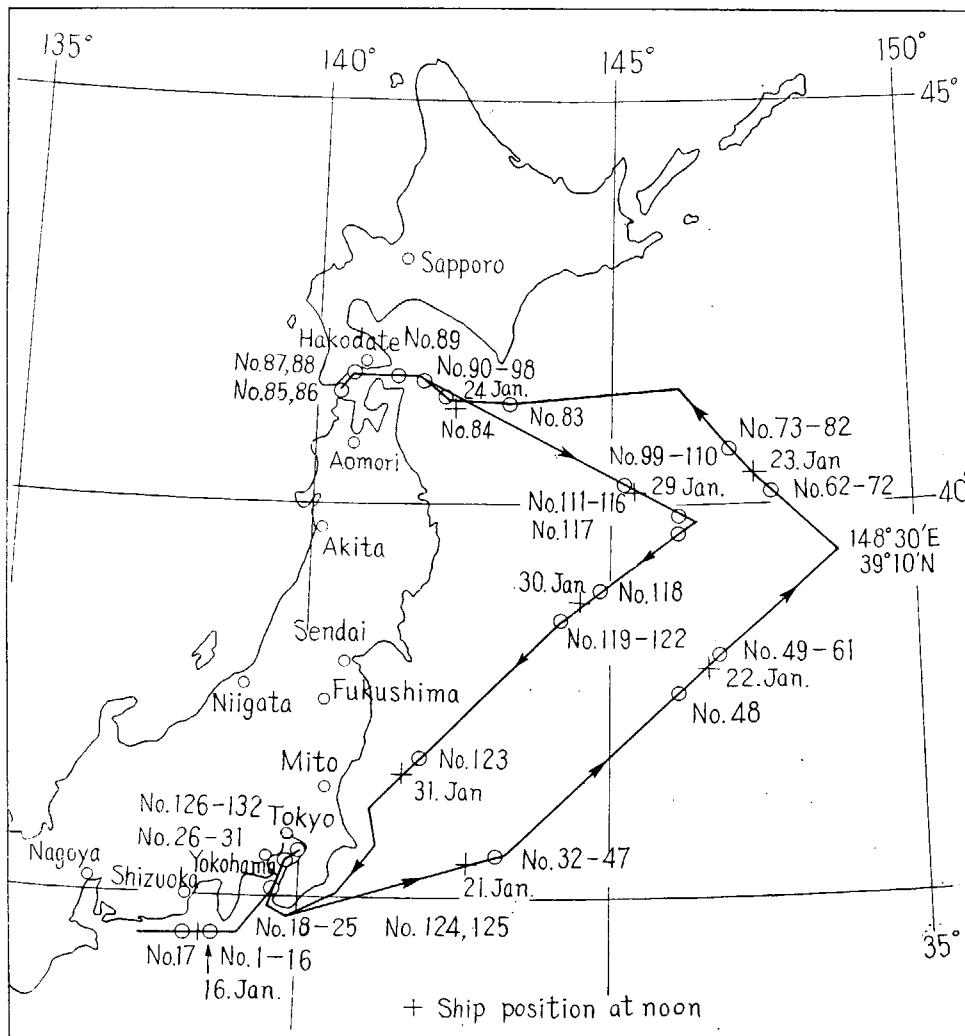


Fig. 3-2 "Ginga Maru" Sailing Route

### 3.2.2 本 試 験 (実験番号 26~132)

1月20日(晴)

11・15 横浜出港、予備試験航海と同様に第1日目は湾内を航走する。

13・35~14・43 千葉沖で平水時の計測を行う(実験番号 26~31)。

1月21日(曇)

うねりがあり、船体の動搖もかなり大きい。

13・25~15・22 洋上での第1回計測を行う(実験番号 32~47)。

今後の計測方法について協議し次のようにきめる。

“午前および午後に定期的に、向波、主機回転数 160 rpm の計測を各 1 回ずつおこない、状況に応じて全系列計 16 回の計測(向波 0°, 右舷 45°, 左舷 45°, 追波 160, 130, 110, 70 rpm)をおこなう”

1月 22 日 (曇)

08・58 定時観測を行う(実験番号 48)。

13・31~14・43 うねりが大きくなつてきたので追波の場合をのぞく 13 回の計測をおこなう(実験番号 49~61)。

1月 23 日 (暴風雨のち晴)

本船は夜半に針路を北東から北西に転じ釣路をめざす。朝からひどい時化になる。

06・17~08・02 野田湾(釜石北方)の東 280 哩、エトロフ島野塚岬南方の海上で計測する(実験番号 62~72)。

風力 10 の暴風雨下の海上は暗澹として、怒濤逆巻き凄絶である。波頭は風に吹きちぎられて飛び、灰色の空と白一色の海面は恐ろしさをただよわせる。波長は比較的短いが 7 波目ごとに一つ大きいうねりがやつてくる。プリッジの前面ガラスも水しぶきにぬれる。船の舵もほとんど動きかないとのことであつたが、一時的に風速が 20 m/sec. 位になつたので旋回して追波時の計測も行う。旋回中の最大ローリング角(振子式による)は 40° に達した。低速では主機に無理が生ずるので 70 rpm をとりやめて 175 rpm の計測をする。一回の計測時間は 3~5 分である。計測終了頃より雨はみぞれに変じ、プリッジでは寒気が身にしみる。

13・32 計測を行う(実験番号 73~82)。

風浪とともに午前よりは幾分おさまり、晴れ間も多くなるが吹雪が去来する。

1月 24 日 (晴時々吹雪)

09・33~09・35 定時観測を行う(実験番号 83)。

13・36~13・38 定時観測を行う(実験番号 84)。

23・25 函館港外に投錨する。

1月 25 日 (晴時々吹雪)

07・06 函館港外より抜錨して西進し、津軽海峡西端、白神岬附近まで行つたが風波とともに静かである。

09・30~09・47 定時観測を行う(実験番号 85, 86)。

14・15 函館港内に投錨し、投錨時の振動計測(実験番号 87)及び 0 点計測(実験番号 88)を行い夕刻に上陸する。

1月 25 日~1月 27 日 (函館碇泊)

1月 28 日 (晴)

10・30 函館港内で 0 点記録をとる(実験番号なし)。

11・00 函館を出港して、三陸沖に向う。

13・30 津軽海峡東端恵山沖 12 哩で定時観測を行う(実験番号 89)。

15・43~17・03 尻矢岬沖でうねりがやや大きくなつてきたので 180° 旋回時をふくめて計測を行

う（実験番号 90～98）。

1月 29 日（晴のち暴風雪）

09・30～11・47 根室南方 180 哩で長時間計測する（実験番号 99～110）。

追波の状態から 180° 旋回して（舵角 25° 160 rpm）3 分 57 秒で向波の状態になる（実験番号 99）。海上は吹雪になり、波が大きく、スラミングの計測に成功したようである。針路を南東から南西に転ずる。午後になつても風浪ともにさらに激しくなり、風力 10（最大風速 33 m/sec）の向い風が右舷前方から吹き、甲板を洗う波により上甲板から遮浪甲板に通ずる階段がさらわれる。船速もますます低下し 175 rpm で 2.5 ノットになり船もあまりきかない。

15・15～16・49 ノサップ岬南方 180 哩で長時間計測を行う（実験番号 111～116）。

船速が小さいので船首が波に翻弄される恰好になり、あまり強い船首船底の衝撃がみられない。

20・30～20・33 特にローリングがひどくなつたので航行中のまま計測を行う（実験番号 117）。

外界はひどい嵐で、最大ローリング角は 40° に達す。銀河丸の経験した最大の動搖とのことであつた。

1月 30 日（暴風雨のち晴）

09・15～09・20 気仙沼東方 200 哩で計測を行う（実験番号 118）。

計測室ではオッショグラフのモーターが前日の酷使のために焼けるものが続出し、1 台は遂に修理不能で以後の計測を断念する。

13・40～14・12 計測を行う（実験番号 119～122）。

船速は依然として 3～4 ノットで夜には波による衝撃で船体が水平振動する。

1月 31 日（晴）

台風一過の快晴で船速は増加し、13 ノット（180 rpm）で福島県の沖を南下する。

09・15～09・17 塩屋崎東方 60 哩で定時観測を行う（実験番号 123）。

2月 1 日（曇時々晴）

房総半島沖を迂廻して館山沖に到達する。

09・00～09・17 館山沖で速力試験を行い 2 回計測する（実験番号 124, 125）。

13・15～15・00 本船側の希望により千葉沖で旋回試験時の計測を行う（実験番号 126, 132）。

旋回時の水圧、水位、横截面応力、動搖角の計測を行つたが、水位計に変化がみられないもので実験番号 129 以降は中止する。

全計測を無事終了したのち、本船は夕刻東京港外に仮泊する。

2月 2 日（晴） 東京に入港、下船する。

2月 3 日（晴） 計器揚陸。

昭和 31 年 2 月以降昭和 32 年 3 月に至る間 15 回の委員会 その他の会合により主として乗船した委員によつて資料の整理解析を行つた。

なお、本試験に計測員の一員として乗船し、激務を完遂した石黒忍氏は疲労のため、上陸直後に発病し、薬石効なく 4 月 28 日職に殉せられた。まことに痛惜の至りであり、同氏の靈に対し哀悼の意をささげる。

## 第4章 計測装置

### 4・1 応力測定装置

#### 4・1・1 電子管切換歪測定装置

北斗丸の実験に使用して満足な成果を得た6チャンネルの電子管切換歪測定装置に、更に次の如き改良を加えて銀河丸の実験に使用した。即ち、測定点は従来の6チャンネルから10チャンネルに増加し、階段波回路を設けて各測定点を自動的に分割して操作、解析を便ならしめ、かつ感度も50%向上した。本装置のブロックダイヤグラムをFig. 4・1に示す。

$10\mu\text{sec}$  のパルス信号が No. 1 ブリッジから順次 No. 10 ブリッジに印加され、この信号は Fig. 4・2 のように時分割されているので相互に干渉することはない。従つてブリッジの出力側を Fig. 4・3 の如く、並列に結び1個のパルス増幅器で増幅することで可能である。

増幅された信号は C.R.T. (プラウン管) の Y 軸に印加され、同時に Fig. 4・4 A に示す階段波形が必要に応じ X 軸又は Y 軸の何れかに切換えて重畳され、各計測点を自動的に分離、配列する。

歪によるパルス変調信号はそのレベルを歪に比例して変化するので、実際に測定に必要なのは矩形波の中間の部分

$$dv/dt = \text{const.}$$

である。

C.R.T. には Fig. 4・4 C の波形が映像されているが、D に示す如く輝度変調信号が C.R.T. の格子に印加され、かつ、この信号は歪パルス信号と同期しているから C.R.T. 上には尖鋭な輝点として各点は映像される。

Fig. 4・5 は歪パルス信号と輝度変調信号の関係を示す。

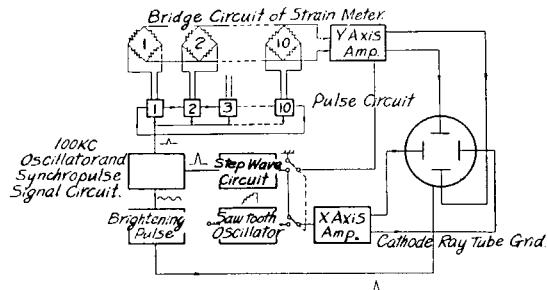


Fig. 4・1 Block Diagram of Electronic Scanning Strain Indicator

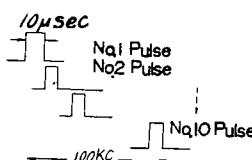


Fig. 4・2 Pulse Signal

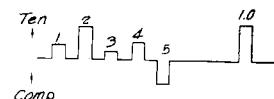


Fig. 4・3 Bridge output Signal Circuit with Parallel Connection.

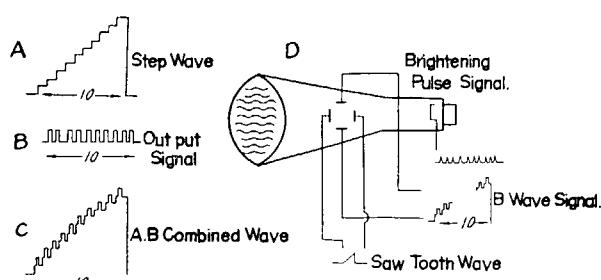


Fig. 4・4

又, Fig. 4・6 の如く導線その他の容量の影響は  $dv/dt$  の大きい部分, 即ち矩形波の始めと終りに現われ測定上誤差を生じない。

故に本方式によればブリッジの平衡をとるのに, 従来のように, 抵抗, 容量の両成分を調節する必要はなく, 単に抵抗分のみでよい。

Fig. 4・7 は本装置による測定要領で

- 1) A は Fig. 4・4 A の階段波形を X 軸に印加し, 各点を X 軸上に分離した場合。
- 2) A' は各点が応力値に比例した振幅を現わし, 計測点を輝点と一致させると直ちに振動応力現象等のスペクトラムを直視することが可能である。
- 3) B は階段波形を歪信号と重畠して Y 軸に印加した場合で, 各点は Y 軸に分離され記録装置で記録する。
- 4) B' は B の状態でかつ X 軸に鋸歯状波を印加した場合で, 位相, 振幅, 波形を直視することが可能である。

#### 4・1・2 切換周波数と測定周波数の関係

電子管切換歪測定装置による波形は点の集合である。測定可能な周波数, 即ち分解能は切換周波数の函数となり, 一定の制限があることは明らかで, これは輝点の大きさにも関係がある。

曲線の長さを  $S$ , 周波数  $f$ , 波長  $l$ , スポットの径を  $d$  とすれば, 切換周波数  $f_s$  は

$$f_s = (S/d) f$$

$S$  は Fig. 4・8 に示す如く, 波高  $A$  によって変化するが,  $S$  と  $A$  との関係は

$$S = 4 \int_0^{l/4} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = 4 \int_0^{l/4} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{l} A \cos \frac{2\pi x}{l}\right)^2} dx$$

$$(y = A \sin 2\pi x/l, 2\pi x/l = t)$$

$$\therefore S = 4 \int_0^{\pi/2} \sqrt{\left(\frac{l}{2\pi}\right)^2 + A^2 - A^2 \sin^2 t} dt$$

ここで  $n = A/l$ ,  $k = \frac{n}{\sqrt{(1/2\pi)^2 + n^2}}$  と置けば

$$S = 4 \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 + n^2} l \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 t} dt$$

となる。

$A/l$  に対する  $S/l$  の関係は Fig. 4・9 に示す。

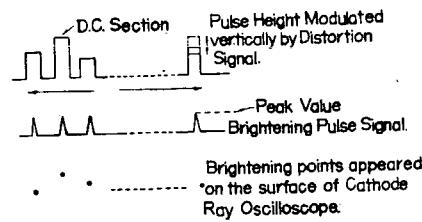


Fig. 4・5

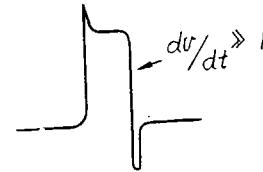


Fig. 4・6

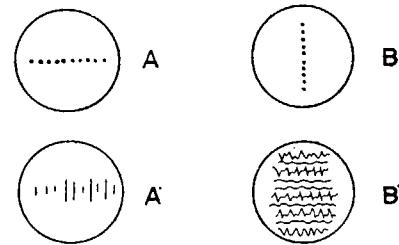


Fig. 4・7

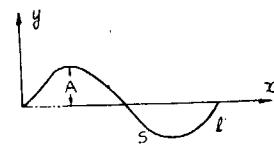


Fig. 4・8

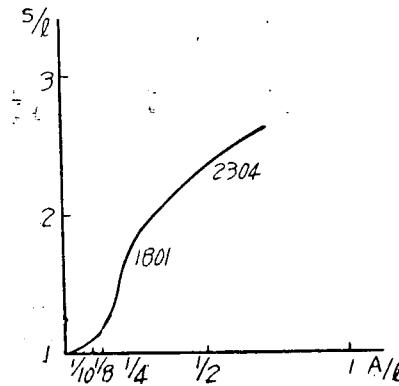


Fig. 4・9 Relation between  $A/l$  and  $S/l$

今、輝点の径  $d$  を 1 mm,  $l$  を 50 mm とし、130 mm 径のプラウン管の有効長さを 80 % とすれば

$$130 \times 0.8 = 100 \text{ mm}$$

100 mm の間に 10 現象あるから他と交錯することができないためには、波高は  $100/10 \text{ mm}$  で

$$A = \frac{10}{2} = 5 \text{ (mm)}$$

故に  $A/l=1/10$  となり、図により  $S/l$  は約 1.1

$$S = 1.1 \times 50 \text{ mm} = 55 \text{ mm}$$

切換周波数を 10 KC として測定周波数を求める

$$f_s = \frac{S}{d} f$$

であるから

$$f_s = 10 \text{ KC}, \quad d = 1 \text{ mm}, \quad S = 55 \text{ mm}$$

とすれば

$$f = \frac{10 \times 10^3 \times 1}{55} = 180 \text{ C/sec}$$

となる。

以上の値は極めてきびしい値であつて、輝点間隙を 2~3 倍にとつても充分な精度で測定を行うことが可能で、従つて測定帯域を 2~3 倍ぐらいまで向上することが可能である。

#### 4・1・3 DM 型歪測定装置

応力測定には電子管切換歪測定装置と同時に、搬送波方式の歪測定装置を使用した。

Fig. 4・10 は本装置のブロックダイヤグラムで、実際に使用したものは 3, 6, 12 チャンネルの 3 種であつた。

A ゲージは測定用歪計、D ゲージは温度補償用ゲージで温度変化による影響を防ぐためのものである。

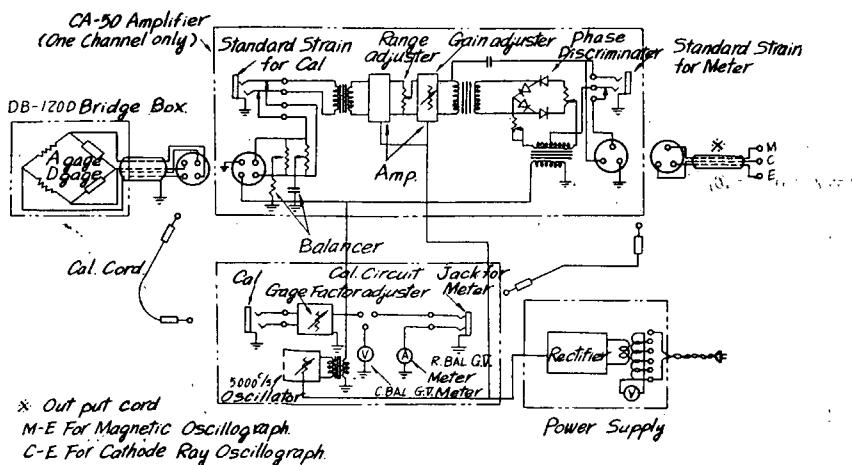


Fig. 4-10 Circuit Diagram of DM Type Strain Measuring Amplifier

5 KC の搬送波を歪計プリッジに印加し、平衡調節器、増巾器、位相弁別器を経て電磁オッショロに接続し記録する。

電磁オッショロは三栄測器 100A-12 を使用し、振動子は G-300-B (固有振動数 300 C/sec, 使用範囲 200 C/sec, 感度 12 mm/ma) を使用した。なお DM 型歪測定装置を使用した場合の零点の変動量は出港時の基準と比較すると全実験を通じて  $\pm 1 \text{ kg/mm}^2$  であった (Fig. 4-11 参照)。

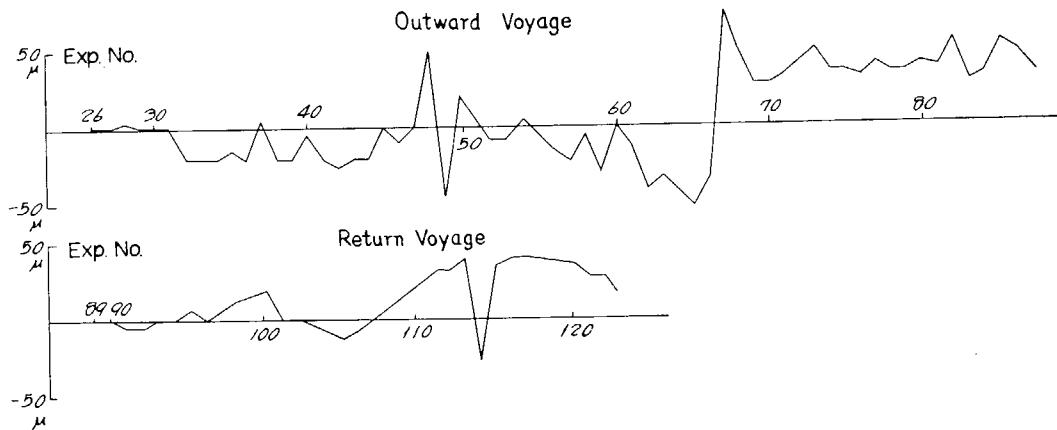


Fig. 4-11 Variation of Zero Point of Amplifier Measured Point (D-3)

又、北斗丸の実験では本装置に DS-65A 型多点切換スイッチボックスを使用し、1 チャンネルの増巾器で 4 点の現象を切換えて測定し、1 点は D-D ゲージを挿入し零ベースの移動を監視した。Fig. 4-12 は D.S.-65A の外観である。

#### 4・1・4 プロテクター

歪ゲージのプロテクターとして Fig. 4-13 に示すものを用いた。本体は鋼製で表面をラッカー焼付にした。(1) は上蓋で 4 個のボルトにより測定表面に締付ける。(2) はパッキングでゴムリングの外と内側に鉄リングを挟み変形を防止した。ゲーデはこのリングの中に位置し、表面をワセリンコートし、更にシリカゲルを封入して防湿の万全を計つた。ケーブルは上部の管より内部に導入しネジにて緊密に締付けて湿気の入るのを防止した。上記の締付ボルトは予め治具を作成し 4 本一挙にスタッドド・ウエルダーで正確に溶接した。

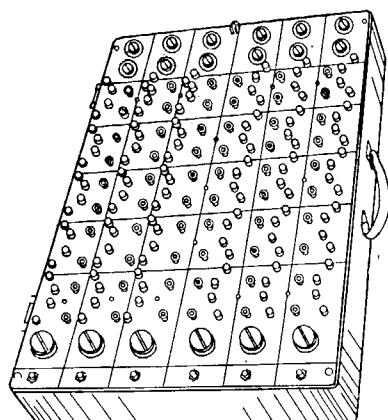


Fig. 4-12

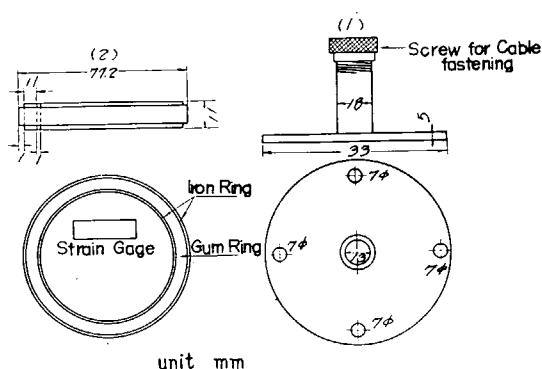


Fig. 4-13 Protector of Wire Strain Gage

## 4・2 水圧計

### 4・2・1 水圧計試作の経過

北斗丸の実船試験では水圧計に対する予備試験として、Fig. 4・14 及び Fig. 4・15 に示す様な抵抗線歪計を利用してA型水圧計およびB型水圧計をそれぞれ6個づつ主として船首部0.5Lの船底部に取付けた。しかしA型水圧計は取付け工事中に受圧面の破損等の事故が生じたため、A型水圧計とB型水圧計の性能比較を充分に行うことは出来なかつた。

そこで実験室で、水面衝撃試験によつてこれらの両型水圧計の性能比較試験を行つた\*。その結果によれば落下高さが大きになるとA型水圧計とB型水圧計の示す水頭の値の差は大きくなり、落下高さ5mでB型の示す水頭はA型のそれの約1/2にしか達しないことがわかつた。これはB型水圧計はFig. 4・15に示すように水が内径5mmの導管で受圧面に導かれているため受圧面が広くとれるので、静的の圧力変動に対しては感度をあげることが出来るが、衝撃的の圧力変動に対しては水と導管壁間の摩擦、および導管中に進入した気泡の圧縮性等のため感度が却つて低下することに基因するのであらうと思われる。したがつてB型水圧計は本研究の目的であるスラミングによる衝撃水圧の計測には不適当であると考え

られたので“銀河丸”的実験にはB型水圧計は使用しないことにした。これに対してA型水圧計は受圧面の直徑は10mmであり、これより圧力伝達棒を介して膜面の変位を内部の抵抗線歪計を貼付けた発振部につたえるのであるが、B型に比して静的の圧力変動に対して感度が悪い。そこで“銀河丸”的実験にはA型と同様に受圧面は外板面と同一面に直接出す型とし、感度を上げるために受圧面の直徑を20mmとし、この面の裏面に直接フォイルゲージを貼付けた改良-A型水圧計を用いることにした。

### 4・2・2 改良-A型水圧計の構造

上述したように銀河丸実験には改良-A型水圧計を用いることに決定したのであるが、静的および衝撃的圧力変動に対して充分な感度を有すると同時に特に次の諸点を考慮に入れて設計した。

- 1) この種の水圧計の取付けは船体の外板に孔を開けることが必要になるので、万一受圧面その他

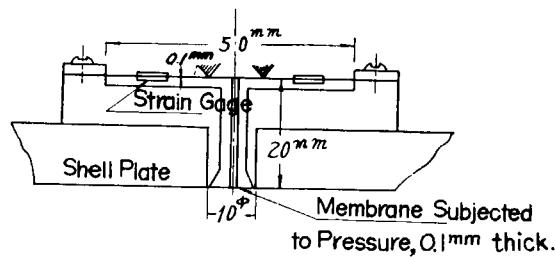


Fig. 4-14 Type-A Water Pressure Gage

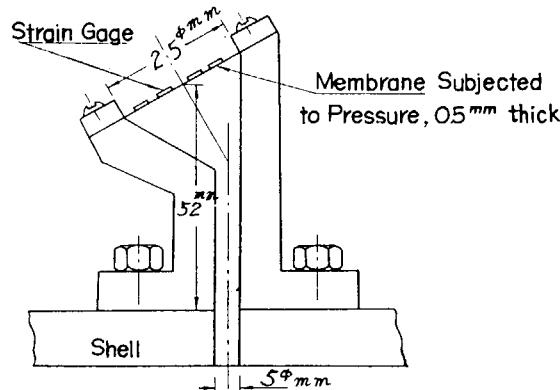


Fig. 4-15 Type-B Water Pressure Gage

\* B型水圧計はあらかじめ導管及び受圧面部まで水を満たした状態で試験を行つた。

に損傷を受けた場合にも海水が浸入しない様に工夫した。

- 2) 受圧面は長時間海水に浸されるので、腐蝕されない様にステンレス鋼で製作した。
- 3) 水圧計に故障が生じても航海中には取替が不可能であるから、受圧面のゲージは4ゲージとして使用し、たとえ断線等の事故が生じても4ゲージ中の任意の2ゲージで測定出来る様に考慮した。
- 4) 海水温度の変化、気温の変化等の温度変化に対しても温度補償が充分に行われる様に工夫した（この点に関しては項を改めて後述する）。

今回使用した水圧計の構造を Fig. 4-16 に示してある。水圧計の本体は上述したようにステンレス鋼 (SEC-6) を使用したが、水圧計のカバーその他のボルト類は軟鋼を使用した。各部の機能は次の通りである。

- ① 水圧計取付けベット：水圧計本体を取付けるベットになる。
- ② 水圧計カバー取付けボルト (8本)：水圧計カバーを取り付け、水圧計カバーとベット間にゴムパッキンを入れ水密を保つ。
- ③ 水圧計本体取付けボルト (6本)：水圧計本体をベットに取付ける、水圧計本体とベット間にゴムパッキンを入れ水密を保つ。
- ④ 水圧計本体カバー取付けボルト (6本)：水圧計本体と本体カバーを結合すると同時にこれらを水密を保つ。
- ⑤ 袋ナット：受圧面に貼付けたゲージより導線と水圧計本体カバー間との水密を保つ。
- ⑥ 水圧計本体：内径 20 mm 厚さ 0.3~0.5 mm の受圧面にフォイルゲージを貼付けてある。
- ⑦ 水圧計本体カバー
- ⑧ 水圧計カバー
- ⑨ 端子板 フォイルゲージよりの導線は端子板に導かれ、ここで4辺ブリッジに組合されている。
- ⑩ 端子板取付ボルト (4本)

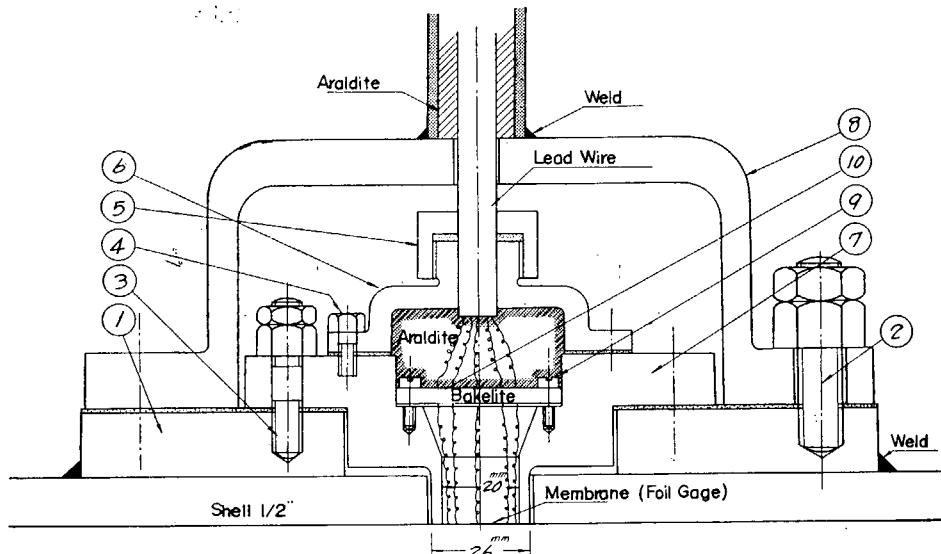


Fig. 4-16 Type-A Modified Water Pressure Gage

#### 4・2・3 測定回路及び検定結果

受圧膜面にピックアップとして Fig. 4・17 に示すような、共和無線製ダイヤフラム用、4辺フォイルゲージ (Cu-Ni 合金、厚さ 1/100 mm, 各辺の抵抗値 80~105 Ω) を接着したが、前述のように、4辺ゲージのいずれかが断線しても使用出来る様に工夫されてある。すなわち 4 ゲージを使用する正規の場合は Fig. 4・18 に示す様に ①②③④ 辺をブリッジに組合せ使用したが、万一断線等の故障が生じた時にはこれらの中の 2 辺を使用し、Fig. 4・19 に示す様にして測定出来る様に配線した。

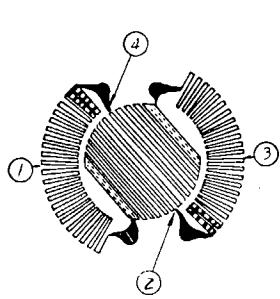


Fig. 4-17 Foil Gage

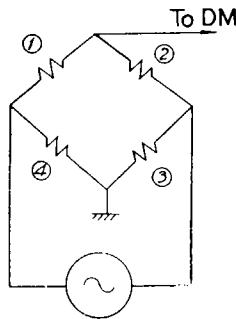


Fig. 4-18 Diagram showing Principle of Connecting 4-Element Foil Gage in Wheatstone Bridge

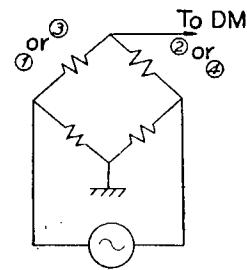


Fig. 4-19 Diagram showing Principle of Connecting 2-Element Foil Gage in Wheatstone Bridge

なお、この場合固定辺には D. M. に附属しているブリッジボックスを用いる。“銀河丸”の水圧配置は既に第2章で述べた通りであるが、船首附近にとりつけるものは最大圧力 70 mH まで、船尾附近に取付けるものは最大圧力 20 mH、中央部附近に取付けるものは最大圧力 40 mH まで測定出来るよう受圧面の厚さをそれぞれ 0.5 mm, 0.3 mm および 0.4 mm の三種類に変えた。感度検定は油圧による静的荷重をあたえて行つた。なお、検定は 4 辺ゲージとしての正規の状態および 2 辺ゲージのみを使用した時の状態についても行つた。水圧計 H-12 の検定結果を Fig. 4-20 に示す。図よりもわかる通り、水圧計の特性は最大測定可能圧力まで直線性は保たれていた。

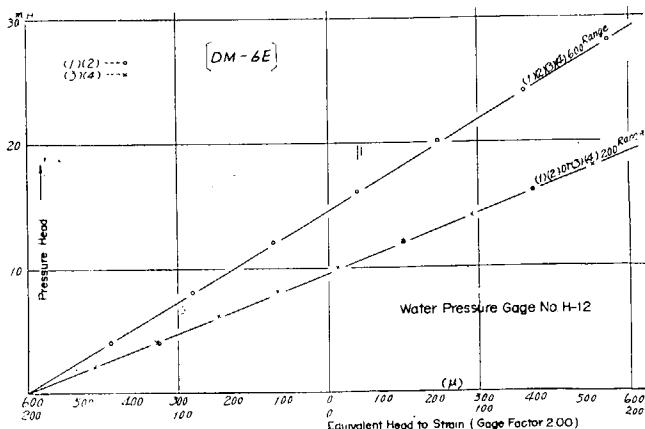


Fig. 4-20 Calibration Curve of Water Pressure Gage No. H-12

#### 4・2・4 溫 度 補 償

全く同一の特性を有するゲージを使用して4辺ブリッジを形成した場合には、温度変化があつても基線の移動はない筈であるが、温度変化が大きいときには各ゲージの温度特性のわづかな相違、およびブリッジボックスまでの4芯リード線の各線間の特性の変動等のために基線はかなり変動するものである。今回の水圧計は特に温度変化による基線の移動を出来るだけ少なくするために、水圧計にゲージおよびブリッジボックスまでの取出線（約2m）をつけた状態で温度補償を行つた。温度補償はフォイルゲージと温度特性の反対である、適当な長さの細い銅線をゲージの間に挿入することによつて行つた。温度は $-10^{\circ}\sim+20^{\circ}\text{C}$ の間で $2^{\circ}\text{C}$ 毎に変化せしめ、基線の移動量は $\pm 10\mu$ の範囲に入るようとした。結果の一例をFig. 4・21に示す。この様に温度補償を行つた水圧計を船体に取付けたのであるが、水圧計本体のみの場合に較べて熱量、温度の伝導状態の相違等のため、ある程度の基線の移動量はやむを得ないことである。実際、実船試験中基線のチェックを行つた結果によると可なり大きな変動があつた。

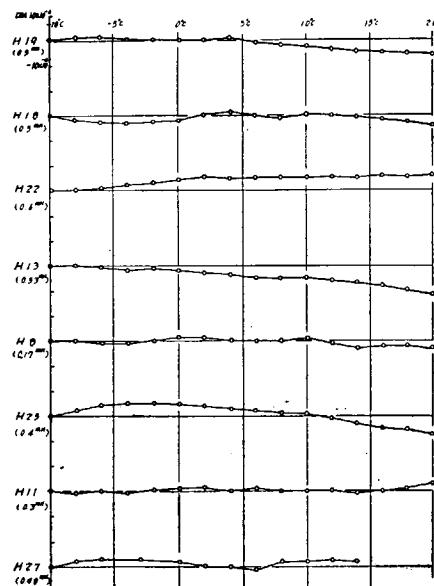


Fig. 4-21 Temperature Characteristics (with cable of the assigned length)  
( )...Equivalent Head to Strain  $10 \times 10^{-6} \mu$

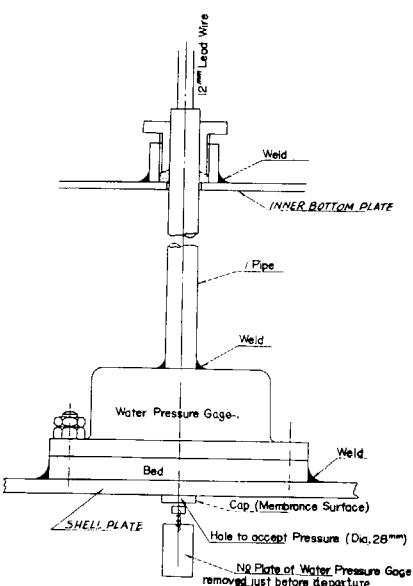


Fig. 4-22 Arrangement of Water Pressure Gage in Double Bottom

#### 4・2・5 水圧計取付け工事

水圧計を取付ける要領は、水圧計取付けベットを外板の内面に溶接で取付け、これに水圧計本体を取り付け、船外から静水圧を加えて溶接部およびパッキングの水密性を確認した後、水圧計カバーを取り付けた。また特に二重底内に取付ける場合にはFig. 4-22に示すように導線を保護のため、水圧計カバーにパイプを溶接し、パイプの他端は内底板上に出し、グランドで締め水密を保つた。

## 4・3 水位計

### 4・3・1 まえがき

波浪中航走時の実船試験、特に構造強度の試験においては、船体に生ずる応力や受ける水圧などとともに、外界条件として船の運動状態や船側におけるウェーブ・プロファイルの同時測定が必要になる。

ウェーブ・プロファイルを測るには、立体写真による方法や電気接点による方法などが考えられ、外國における実測例もいくつか報告されている<sup>12)</sup>。

われわれは北斗丸および銀河丸において、電気接点を用いる方法を用い、船体に穿孔しないで比較的簡単に船側における水位およびウェーブ・プロファイルを測定することができた。

### 4・3・2 水位計の構造および測定方法

#### (1) 水位計の原理

船体のある断面の船側外板上に、上下にある間隔をおいて多数の電気接点を船体と絶縁して取付け、船体との間に一定の電位差を与えておくと、接点が没水したときの海水による短絡電流によってその断面における水位(吃水)が求められる。このような断面を前後方向にいくつか配置して同時に連続記録をとれば、刻々の船側におけるウェーブ・プロファイルを記録することができる。

#### (2) 本水位計の特徴

- 1) 応力、水圧および船体運動などの諸現象と完全に同時対照のできるウェーブ・プロファイルの連続記録がとれること。
- 2) 電気接点による方法で船内の1カ所で遠隔操作のできること。
- 3) 船側外板に穿孔することなく舷外配線としたこと。
- 4) 配線工事の簡略化、流体抵抗の軽減および船の美観などの見地から、舷側の配線はすべて合成樹脂による外板への直接貼布としたこと。

#### (3) 北斗丸における水位計(その1)

助骨 No. 95~96 の中間(F.P. から 0.15 L 後方)で右舷 1 箇所だけ試験的に取付けたものである。接点は 75 cm 間隔に 9 点設けた。

測定回路は Fig. 4-23 に示す通りで、抵抗  $r_1 \sim r_9$  によって短絡電流の大きさを階段的に変化し(入力 6V で 5~50 mA の間に約 5 mA 間隔) 電磁オッショグラフで記録するものである。

接点板はラジオ用の中継ラグ板を Fig. 4-24 のように改造してハンダを盛上げたものである。導線は正側は 3 mm の真鍮裸線、負側は各点独立で  $15 \text{ mm} \phi$  の 3 心キャブタイヤ 3 本を使用した。

絶縁、補強および流体抵抗減少のために接点附近の導

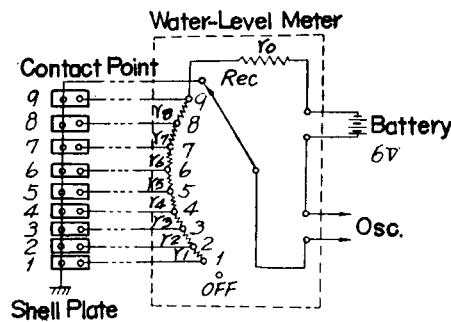


Fig. 4-23 Circuit of Water-Level Meter  
("Hokuto Maru" No. 1)

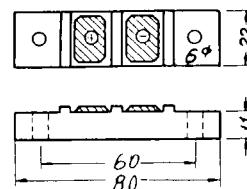


Fig. 4-24 Contact Point Plate (Unit mm)  
("Hokuto Maru" No. 1)

線は針金でしばつた上 Fig. 4·25 のようにピッチで整形した。断面図のようにピッチに底をつけたのは、上から流れ落ちる水を遮断するためである。

#### (4) 北斗丸における水位計（その 2）

昭和 29 年度は実船強度試験は行わなかつたが、前年度の北斗丸の水位計の測定結果を参考として、次年度の本試験に備えるため改良研究を行い、第12研究部会の実船試験に便乗してふたたび北斗丸に水位計を取付けた。

測定回路は Fig. 4·26 に示す通りで、1 断面に 75 cm 間隔に 8~9 箇の接点をつけ、各接点板には一定の固定抵抗を封入し、電極はこの抵抗を通して各断面に 1 本の導線に接続した。右舷側だけに 6 断面をとり、合計 53 箇の接点を使用した。没水した深さによつて電流が階段的に変るのを電磁オッショグラフによつて記録するものである。

接点板はポリエスチル樹脂によつて極板、抵抗器および導線を鉄込

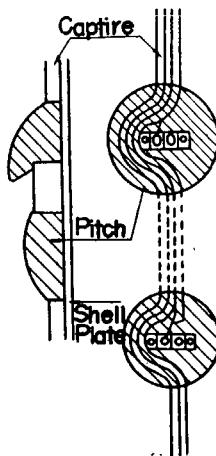


Fig. 4·25 Contact Point of Water-Level Meter ("Hokuto Maru" No. 1)

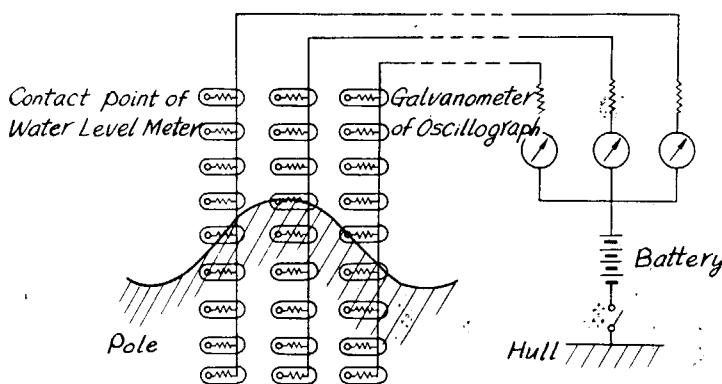


Fig. 4·26 Circuit of Water-Level Meter ("Hokuto Maru" No. 2)

んだものを使用した (Fig. 4·27)。ポリエスチル樹脂は任意の形にモールドできること、電気絶縁性のよいこと、ガラス纖維を混入すると極めてすぐれた強度の得られることなどの利点がある。電極に

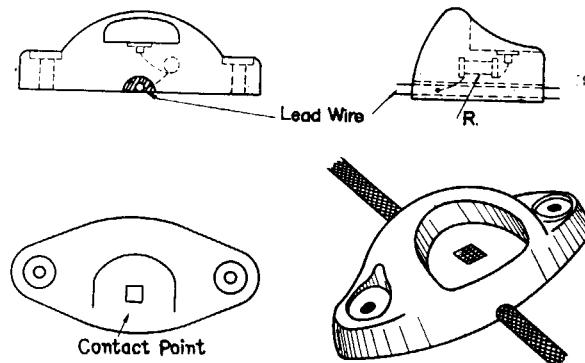


Fig. 4·27 Contact Point of Water-Level Meter ("Hokuto Maru" No. 2)

は  $6 \times 6 \times 0.1$  mm の白金板を、導線は 5 mm 径のシールドキャブタイヤを使用した。

#### (5) 銀河丸における水位計

銀河丸では左右舷各 6 断面、1 断面に 8~9 箇、合計 96 箇の接点を配置したが、各接点から 1 本ずつの導線でそれぞれ独立に測定室まで導き、電極の没水および浮上に応じて水位指示パネル (Fig. 4-28) に配置した豆電灯が点滅するのを 16 mm カメラで撮影するものである。この方式では測定室内においていつでも刻々のウェーブプロファイルを肉眼で模型的に観察することができる。

水位指示パネル右側はワーレンモーターで駆動する時計装置で、長針は 6 rpm、短針は 1 rpm となつていて。時計下方の豆ランプは他の諸現象との時刻対照用の同時マークである。

接点板は抵抗器封入の必要もないでの、できるだけ小さくして外部からの損傷を避けるために、Fig. 4-29 のようなペークライトモールドを用いた。

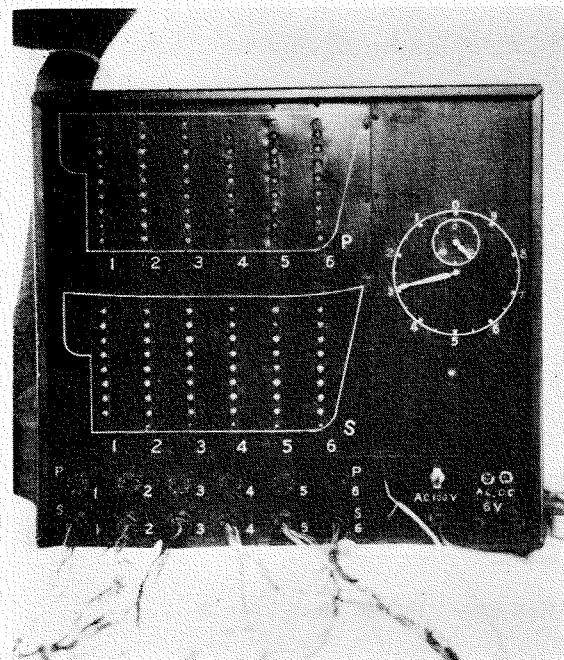


Fig. 4-28 Indicating Panel of Water-Level Meter

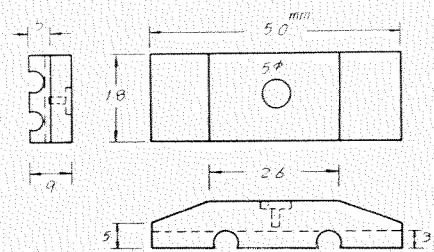


Fig. 4-29 Plate for Electric Contact Point of Water-Level Meter

電極は直径 5 mm、厚さ 0.1 mm の白金板、電極の周囲には撥水性を高めるためシリコン樹脂を焼付けた。導線は 3 mm 径のビニール被覆シールド線を用いた。シールド外皮は導線を外板へ貼布する樹脂の接着性を高めるためのものである。

#### 4・3・3 接点板と導線の取付け

接点板と導線の船体への取付けは、

- 船の入渠中の短期間に完了せねばならぬこと。
- 波浪に対して充分の強度を有すること。
- 長期間波浪中にあつても電気絶縁性の低下しないこと。
- 外板面からあまり高く凸出しないこと。

v) 船の美観を損わないこと。

などの点から、北斗丸の第1回目のとき以外はすべて合成樹脂による外板への直接貼布を行なつた。

### (1) 北斗丸（その1）

この場合は応急的な処置であつたため、前述 (Fig. 4-25) の接点板を、スタッド溶接で外板に植えた2本のボルトで船体に締めつけ、導線も同様に植込ボルトによつて 7~15 cm 間隔に抑えバンドで取付けた。

波浪に対する強度はやや弱く、特に波にたたかれる機会の多い下部の方は実験後半には船体から剥離してしまつた。

### (2) 北斗丸（その2）

接点板は外板にスタッド溶接を行なつた 6 mm 径のボルト2本で締付け、導線は Fig. 4-30 のようにガラステープとアラルダイト（エトキシリソ樹脂）で整形貼布したのち、防食ゴム塗料を塗装した。

試験結果によると、波浪に対しては充分の強度と耐水性をもち、取付後1カ年でも充分な絶縁性を保つていたが、出入港または停泊時の接岸や舟艇の接触などによる損傷が多かつた。この方式では1カ所破損して絶縁が破れると、その断面全部の計測が不能となる欠点がある。

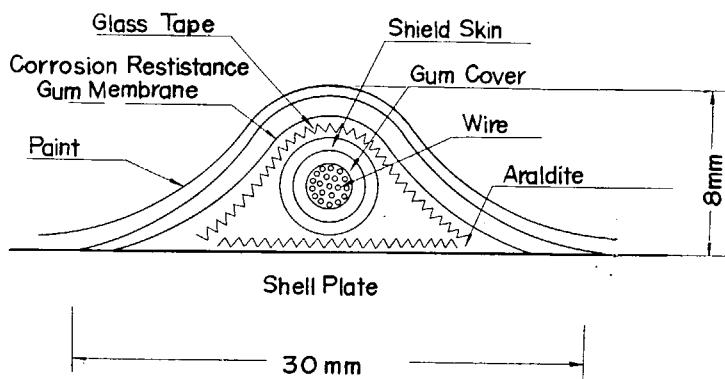


Fig. 4-30 Detail of Wiring to Hull Plate ("Hokuto Maru" No. 2)

### (3) 銀河丸

上述のような外部からの機械的損傷に対する補強を考えて充分な対策をとつた。

取付け要領は Fig. 4-31 に示す通りで、 $10 \times 12$  mm の鋼製棒のフェンダーを2条外板に断続溶接で取付け（故障の危険の少い海面下は船首側に1条のみとした）、接点板も導線もすべてその間に埋込んでアラルダイト（エトキシリソ樹脂）で充填した。フェンダーの間隔は図の通り接点の部分だけ 20 mm としたが、中間では適宜短縮して樹脂の節約を計つた。外板シームに当る所ではフェンダーに段付は行わず、隙間に樹脂を充填して工事を簡略にした。

参考のために取付工事の要領を順序を追つて略記すると次のようになる。

- 1) 入渠、排水
- 2) 足場掛け
- 3) 研磨：樹脂の接着性をよくするためペイントや錆をグライソダで落す。

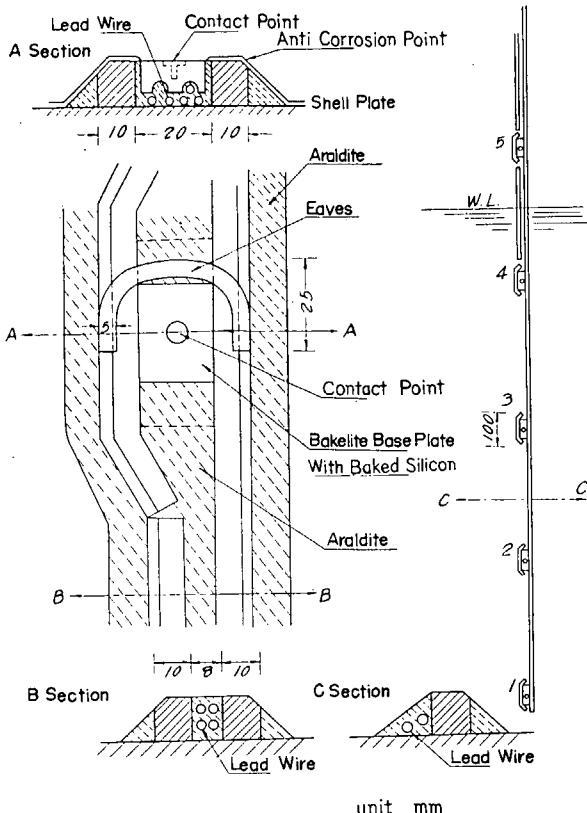


Fig. 4·31 Set Up of the Contact and Lead Wire

- 4) フエンダー溶接
- 5) 再研磨: 溶接スパッタやフラックスを落す。
- 6) 接点取付け: 接点板を予定位置にアラルダイトで貼布仮付けする。
- 7) 導線接続: 舷外の導線と船内配線のキャプタイヤーとを舷側厚板附近で接続する。
- 8) 絶縁試験と導通試験
- 9) 樹脂充填: 上述の Fig. 4·31 のようにアラルダイトを充填する。
- 10) 防蝕塗料塗装: ネオプレーン配合の耐蝕ゴム液ライニングを施す。下塗り1回。上塗り2回。
- 11) ペイント塗装: 完成状態は Fig. 4·32 の写真の通り。
- 12) 足場外し。
- 13) 注水、出渠。

以上の工事を7日間で完了したが、入渠排水と注水出渠にそれぞれ1日を要したので、実際の工事期間は5日間であった。

接点の配置はFig. 4·33に示す通り左右舷対称の6断面づつ、1断面に8~9個合計96個とした。各接点の基線上からの高さはTable 4·1に示す通りである。

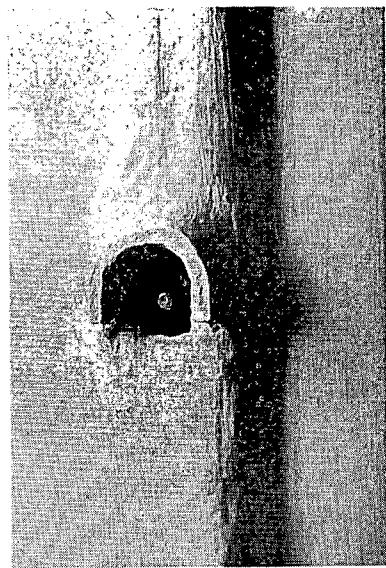


Fig. 4·32 Electric Contact Point of Water-Level Meter

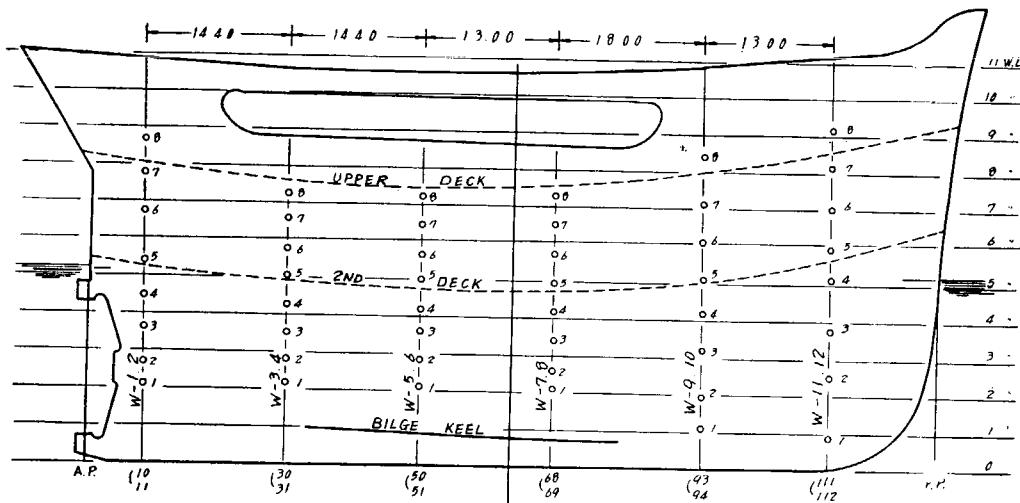


Fig. 4-33 Arrangement of Electric Contact Points for Water-Level Meter

Table 4-1 Height of Electric Contact Points from Base Line (m)

	W 1, 2	W 3, 4	W 5, 6	W 7, 8	W 9, 10	W 11, 12
8	8.65	7.20	7.20	7.30	8.40	9.15
7	7.75	6.60	6.40	6.50	7.05	8.20
6	6.75	5.75	5.65	5.75	6.05	7.00
5	5.40	5.05	4.95	4.90	5.05	6.00
4	4.50	4.25	4.20	4.15	4.20	5.15
3	3.60	3.50	3.60	3.40	3.20	3.80
2	2.75	2.80	2.85	2.60	1.90	2.60
1	2.10	2.15	2.10	2.05	1.15	0.95

#### 4・3・4 アラルダイトの接着強度

水位計の取付けに使用したアラルダイトは、エトキシリソ樹脂に增量剤を混入して充填材として市販されているペースト状のもの（タイプ 121N）であるが、相当多量を必要とするのでさらに砂（カーボランダム 40 番）を重量比 50% 程度混入して增量を計った。元来接着材というよりも充填剤であるためその接着強度に関する資料もなかつたので、以下のような数種の実験を行つた。

材料：樹脂 アラルダイト、タイプ 121N

硬化剤 No. 951、定量 (4.5%)

条件：砂混入 カーボランダム 40 番、重量比 0, 30, 60%

清水中浸漬 0, 15, 30 日間（塗料使用せず）

試験種類：引張り、圧縮剥離、剪断剥離試験

##### (1) 引張り試験

砂の混入率 0, 30, 60% の 3 種のもので 10mm 角の棒を各々 3 本づつ作り、いずれも水に浸漬しないで引張り試験を行つた。ヤング係数は 425~760 kg/mm<sup>2</sup> で砂の混入率との間に明らかな関連は求められず、ただ混入量が増すと測定値の分散が大きくなるようで、砂を入れない場合は 425~550

$\text{kg/mm}^2$  程度である。引張り強度は  $1.25\sim2.55 \text{ kg/mm}^2$  の間に分布し砂の混入率との関連はやはり明らかでない。

## (2) 圧縮試験

同一条件3個づつ合計27個の試験を行つた。試験片寸法および試験結果を Fig. 4·34 (a) に示す。

水に浸さないもののヤング係数は引張りの場合と同様に、樹脂のみの場合  $420\sim430 \text{ kg/mm}^2$ 、砂を混入したものも含めると  $390\sim550 \text{ kg/mm}^2$  程度の分散を示した。圧縮強度は図示の通り  $8\sim11.5 \text{ kg/mm}^2$  で砂の混入量が増すと上昇し、浸漬日数が長くなると低下している。

## (3) 引張り剝離試験

Fig. 4·34 (b) のように2個の軟鋼片を貼り合わせたもので、同一条件6~7個づつ合計61個の試験を行つた。樹脂層の厚さ  $t$  は  $0.5\sim4 \text{ mm}$  に変化させたが、砂を混ぜない場合は  $t$  の小さい程引張り強度が大で  $t$  との間に大体直線関係が成立つが、砂を入れた場合は  $t$  と強度との関連は見出せなかつた。浸漬によつて強度は僅かに低下するが砂の混入による悪影響は見られない。破断は樹脂と鋼の接着面で起るものと樹脂内部で切れるものと同数位で、接着力はほぼ樹脂自身の引張り強度と同程度のものと考えられ、前項(1)の結果とも大体一致している。

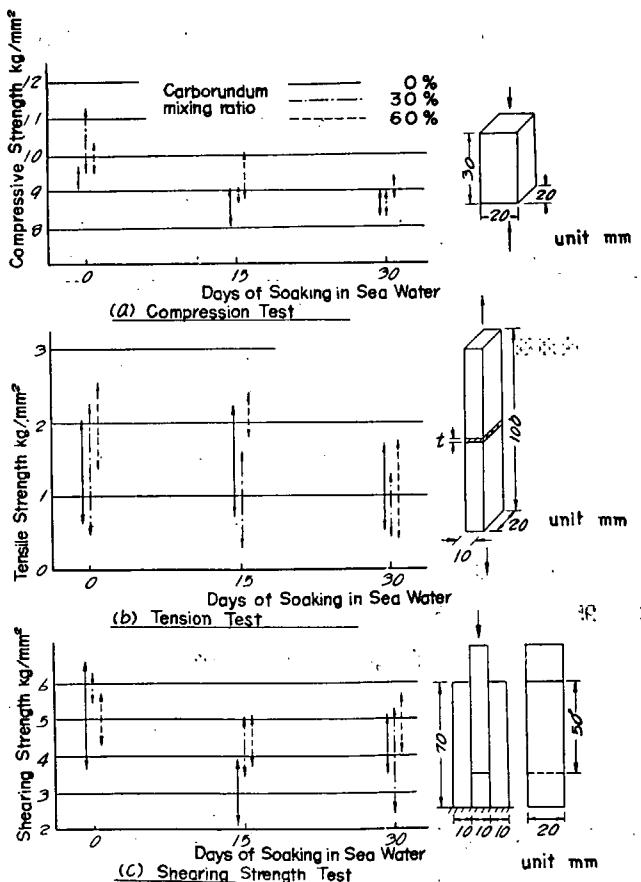


Fig. 4·34 Strength Test of Araldite (Unit mm)

#### (4) 剪断剝離試験

Fig. 4·34 (c) のような試験片で同一条件3個づつ合計27個の試験を行なつた。樹脂層の厚さは2mmで一定とした。剝離強度は図示の通り $2\sim6\text{ kg/mm}^2$ であるが、この場合も砂の混入および水中浸漬による悪影響は明確には認め難い。

以上の諸実験の結果からみて、ここに使用した樹脂は他のタイプの接着用の樹脂と大体同程度の接着力をもち、50%程度の砂を混入してもほとんど性能の低下のないことがわかつた。

また、水中に30日間露出していても性能低下は僅かであることがわかつたが、この上に塗装するネオプレーン配合の防蝕ゴム塗料の損傷度については、すでに北斗丸で実験済みであつたので、この点も問題のないことが確かめられた。

#### 4·3·5 記録例

##### (1) 北斗丸の場合

北斗丸における水位計のように電磁オッショログラフによる記録の一例を示すとFig. 4·35のようになる。

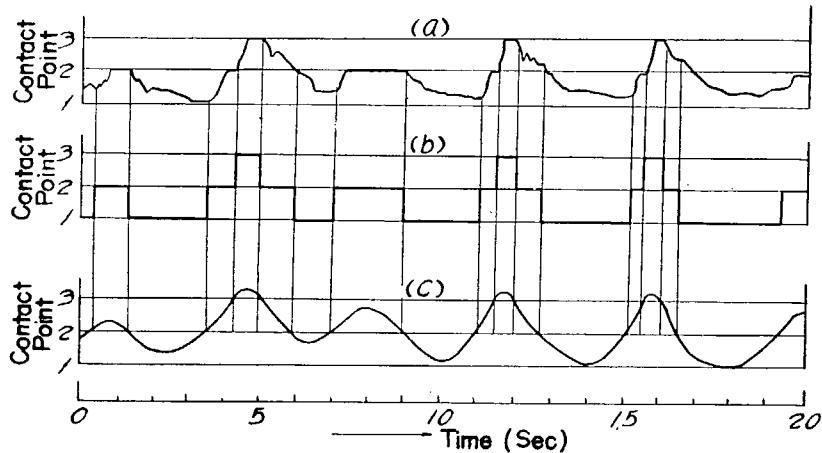


Fig. 4·35 One Example of Water-Level Measurement

(a) はオッショログラフの記録曲線、(b) は水位計が理想的に働いた場合に描くはずの曲線、(c) はこれから推定した水位の曲線である。図に見る通り、水位の上昇（曲線の上昇）は比較的明確にとらえることができるが、下降の場合は正確にその瞬間をとらえにくい。これは接点が濡れているために絶縁が悪いからで、電極の上側に底をつけたり、潤滑剤を周囲に塗つたりしても常時水中にあるような部分（下の方）ではあまり改善されない。

このように (a) のような曲線から水位を解析するには非常に手数がかかるのであまりいい方法とはいえない。

また記録に電磁オッショログラフを使用することは、わずかの絶縁不良にも敏感すぎるということもあり、またこの方式では断面数だけの電磁オッショログラフの振動子を必要とするので、本試験においてはこの方式はとらないことにした。

##### (2) 銀河丸の場合

記録写真の一例を Fig. 4·36 に示す。これは減速モーターで撮影機を回して1秒間4駒の速度で撮

つたものである。大体のウエーブ・プロファイルはこれから知ることができるが、前後方向の断面間の距離は13~18 m, 上下接点の間隔は0.6~1.4 mあるのであまり精密にはわからない。各断面の吃水変化を時間を基線とした連続曲線にとると、この接点の上下の間隔から招来される粗雑さは免れることができる。後に(第5章)に示すウエーブ・プロファイルの曲線はこうして求めたものである。

#### 4・3・6 あとがき

以上の北斗丸2回、銀河丸1回と3次にわたる水位計の改良研究の経過および結果について略述したが、前2回のものは最後の銀河丸の試験に備えての準備段階のものでいろいろ不満も多かつたが、銀河丸の水位計では一応完成品と考えてもよいと思われる所以、これに対する考察だけを最後に追加しておく。

今回の試験の結果、接点と導線の取付け強度はほとんど完全で、撤収時(取付けてから6ヵ月後)において外部の損傷や絶縁の低下は全くみられなかつた。

記録装置にも別に支障はなく所期の目的は充分に達せられたが、記録整理の経験から懸をいえば接点数をさらに大幅に増加すべきであつたと思う。接点の上下間隔をさらに密にしておけば前項に述べた手数を全く要せず、任意のフィルム一駒を見ただけでその瞬間のウエーブ・プロファイルを正確に求めることができる。取付け強度は充分であるから今回のような方式で接点板をもつと小型の簡単なものにし導線もさらに細いものを使用すれば、余り経費もかからないで点数を増加することができると思われる。

#### 文 獻

- 1) A. J. Johnson & A. V. Ridler: TINA, Vol. 91 (1949).
- 2) D. I. Weiss: JSTG, Vol. 37 (1938).

### 4・4 加速度計

#### 4・4・1 自 的

波浪中を航行する船舶の縦強度を論ずる場合には、波と船体との静的相対位置を水位計によつて知ると共に、縦揺れ及び上下動に基づく船体の動的影響を考慮に入れねばならない。ピッキングロー

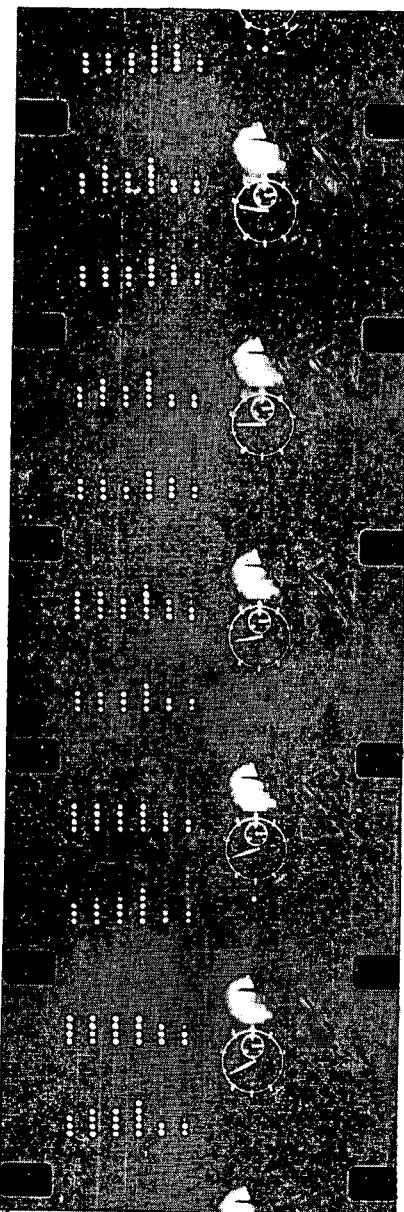


Fig. 4-36 Photograph of the Water-Level Meter Records

ダーレは縦揺れ角度を測定し得るだけであつて、上下動測定用は適當な計器がないので上下方向用の加速度計を縦方向に数個配列して、縦揺れと上下動との合成加速度を記録することとした。この方式は加速度計の記録がそのまま前述の動的影響の補正に使用出来る点からも都合がよい。加速度の記録を二重積分すれば、計器位置においての上下動が得られるので空間に対する船体の位置を求めることが出来、スラミング発生時の状況を明らかにすることが可能である。また加速度計の周波数特性を 10 c.p.s. 当りまで平坦にしておけば、同時にスラミングによる衝撃加速度とスラミング後の船体振動の状況をも計測出来る。

加速度計および二重積分装置は上述の目的を達するために動揺および衝撃、振動による船体の上下方向加速度と変位とを記録しうるように設計せられた。これらの計器は他の水圧計、船体応力計と同一の出力レベルを有し、オッショグラフに同時記録が出来るように考慮を払つた。

#### 4・4・2 加速度ピックアップの設計と構造の概要

波浪中を航行する船体の上下運動を Table 4・2 のように分類してみると、その特徴として非常に低周期、大振巾であり、計器は常に船の運動に従つて運動しているため、地震計に見られるような長周期ペンシュラムを使用した変位型振動計は到底安定に作動し得ないと考えられるので、ここでは短周期ペンシュラムによる加速度計型振動計を使用して、加速度を記録することとした。また周波数範囲が 1/10~10 c.p.s. と約 100 倍に拡がつているため、これらを 1 個の計器で完全に記録することは不可能なことが判明する。従つてここではピックアップを 2 種類製作し、動揺を主とするもの (A) と、振動衝撃を主とするもの (B) とに分けた。Table 4・3 に加速度ピックアップの設計の方針を示す。

Table 4・2 Classification of Vertical Motion of Ship (Ship Length=90~100 mm)

No.	Species	Classification	Amplitude	Frequency	Max. Acceleration	Remarks
1	Rolling	Pitching	2~6 m	1/5~1/7 cps	1 g	At Fore and Aft = $T_e$ (Period Encounter)
		Heaving	2~4 m	1/6~1/8	0.5	
2	Vibration	2 Node	1~2 mm	2.5~3	0.07	At Fore and Aft
		High Node	0.1 mm	6 ~ 8	0.03	
3	Impact	Slamming	—	—	0.2	At Fore and Aft

Table 4・3 Characteristics of Accelerographs

Type	Frequency	Max. Acceleration	Output *	Remarks
A	0~4 cps	1.0 g	410~510 $\mu$ /g	With zero point clamping device
B	2~10	1.5	180	—

\* Virtual strain output of 1 g ( $980 \text{ cm/sec}^2$ ) is expressed as  $10^{-6}$ .

#### 4・4・2・1 加速度ピックアップの原理と設計

北斗丸実験の結果判明した加速度計、二重積分計を含めて改良を要する点を列挙すると、

- 1) サージング、ヒーピング測定には加速度計の感度を現在の 10 倍程度向上させること
- 2) 実船測定中にも零点のチェック、感度の検定が行えるようにすること
- 3) 二重積分計の回路を改良して、漂動を少くし、且回路全体の利得低下を完全に補償すること
- 4) 記録に当つては関連する応力、水圧および動揺等と同時測定を行うべきこと

等である。これらの点について考慮を払つて加速度ピックアップの改良を行つた。

振動エレメントは Fig. 4·37 に示すように先端に質量を附加した板バネを片持梁としたものであつて、上下の加速度に応じて図のように一次の揺みを生ずる際の板バネの根本に近い部分の歪を表裏 2 枚宛貼りつけた抵抗線歪計によつて取出し、加速度に比例した電気的出力をうるものである。

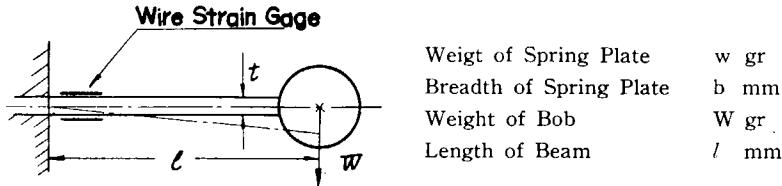


Fig. 4·37 Principle of Pick-Up (Accelerograph)

加速度型振動計の原理によると、適當な減衰を附した場合には加速度感度は振子の固有振動数の  $1/3 \sim 1/2$  に至るまで一様にすることが出来るので、感度をなるべく高める意味において、板バネの固有振動数は Table 4·3 中の最大測定振動数の約 3 倍に選び、又抵抗線歪計の安定をも兼ねて振動系全体をシリコン油中に浸して最適減衰状態を保たせた。このような方法では振動系には粘性減衰のみでなく、油の運動による動的減衰も加わるので比較的粘度の低い油でも有効な減衰が得られる利点がある。Fig. 4·37 において振動系の一次固有振動数  $f_1$  c.p.s. は

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EIg}{l^3(W+0.23w)}} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$I$  = 板バネの断面二次モーメント  $\text{mm}^4$

$E$  = 板バネのヤング係数  $\text{kg/mm}^2$

となる。二次の固有振動数は  $f_1$  の 6 倍近くとなるから考慮に入れる必要はない。板バネの厚さ  $t$  mm は (1) 式において  $f_1$  を上述の値とし、長さ  $l$  mm、幅  $b$  mm、及び  $W$  gr. の値を大略定めることによつて得られる。Table 4·4 に振動系の定数を示す。

Table 4·4 Constants of Vibrating System

Type	$l$ (mm)	$b$ (mm)	$t$ (mm)	$W$ (gr)	$f_1$ (%)
A	60	15	0.24	11.5	14.3
B	60	15	0.50	11.5	33.3

次にこのような片持梁型振動計の使用限界と最大感度について考察をしてみよう。まず板バネ材料として 0.74% C のバネ鋼を使用した際の比例限から抑えられる使用限界歪  $\varepsilon_{\max}$  は安全率を 3.0 として

$$\varepsilon_{\max} = 1700 \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

また、先端揺み量  $\delta$  と全長  $l$  との比が  $\delta/l < 1/50$  の場合に  $\varepsilon$  と加速度が比例するものとすれば、 $t=0.25$  mm の板バネにおいてその重さ  $w$  を省略した場合には

$$\varepsilon = 3/2 \cdot t/l \cdot \delta/l \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

従つて

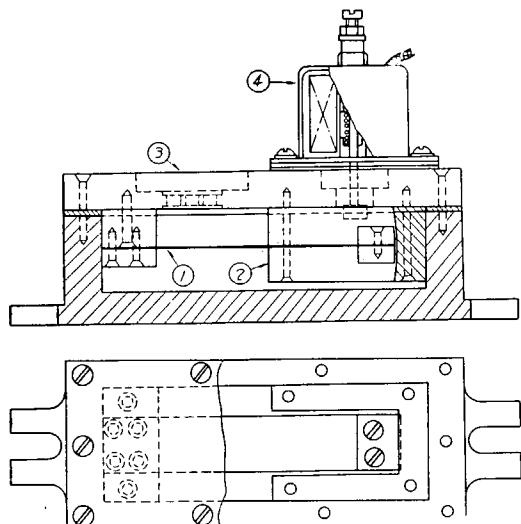
$$\varepsilon_{\max} = 120 \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

よりも感度が上昇しないことがわかる。Fig. 4-37 の振動系が  $ag$  の加速度を受けた場合の根本の歪  $\varepsilon$  は

実際には抵抗線歪計の貼付け位置によって測定歪は(5)式よりも低下するから、4枚の歪計をプリッジ接続としても望みうる加速度感度は1g、当り  $500 \times 10^{-6}$  程度のものとなる。

#### 4・4・2・2 加速度ピックアップの構造

加速度ピックアップA型の断面図をFig. 4-38に、内部構造写真をFig. 4-39に示す。



- ① Location of Spring & Strain Meter
  - ② Metal Fitting for Oil Damper
  - ③ Terminal Plate
  - ④ Magnet for Zero Point Clamping

Fig 4.38 Cross Section of Type-A Accelerograph

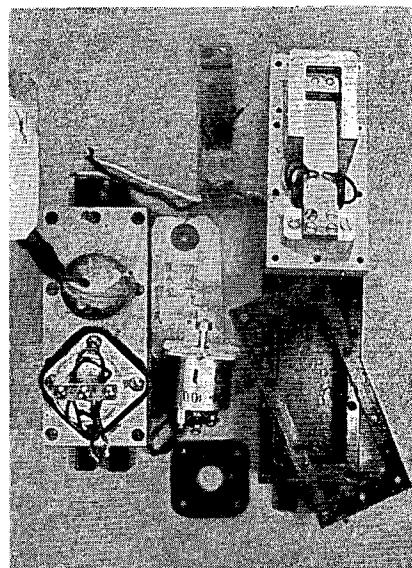


Fig. 4·39 Accelerograph

B型はクランプ用マグネットがなく、リード線引出口の形状が若干変っているだけで内部構造は同一である。ケースはアルミ合金鋳物製で耐蝕塗料を焼付けてあり、蓋はアルミ合金板で、アルマイ特加工をしてある。内部の押え金具と、粘性減衰を有効に与えるために板バネとの間隙を狭くする充填金具とはアルミ合金製、板バネはバネ鋼、バネに付ける重錘は鋳鉄である。A型ではケースにベーキライト製ターミナル板をポリエステルで押込み、B型ではアルミ合金製の油密リード線引出口を設けてある。パッキングは合成ゴムのネオプレーンであつて油に浸されないようにし、更にパッキングの両面にオイルシール（東芝製1号）を塗つてシリコン油の洩漏防止に万全を期した。A型は3個、B型は1個製作し、重量はA型が550g、B型が540gである。

ダンパー液は任意の粘度が得られ、かつ温度による粘度変化が少なく化学的にも安定なシリコン油(信越化学製 KF-96)を使用した。Table 4・5 にシリコン油の特性を示す。

粘度は次節に述べる較正試験によつて決定した。

A型の3個の計器は船の中央部及び前後端に置いてヒーピング及びピッキングの合成運動を測定す

Table 4·5 Characteristics of Silicon Oil

Specific Gravity	0.97 (20°C)
Congeal Point	-49°C
Ignition Point	about 300°C
Viscosity-Temperature Coefficient	0.60 ( $= 1 - \frac{\text{Viscosity at } 210^{\circ}\text{F}}{\text{Viscosity at } 100^{\circ}\text{F}}$ )
Withstand Voltage	10~12 kV/mm
Characteristic Resistance	$10^{14} \Omega/\text{cm}^2/\text{cm}$
Volume Expansion Coefficient	$0.95 \times 10^{-3}/\text{°C}$
Standard Viscosity (25°C)	20, 50, 100, 300, 500, 1000, 3000 C.S.

るものであるが、試験船は出港後数日以上に亘り海上において絶えず動揺しているため電気計器の安定の点よりみて、オッショログラフの記録から動揺の中心線を求めるることは困難である。従つて測定中の任意の瞬間に遠隔操作により機械的に振動系を静止状態にクラシップしうる機構が必要となる。Fig. 4·38 にみられるマグネットはそのためのものであつてマグネットに通電すると抑え金具がコイルスプリングの力に抗して下降し、振動バネの先端の重錘の上縁にふれると共に電磁的にこれを吸着するようになつてゐる。通電を止めると、抑え金具は振動バネを解放して上昇する。先づ出港前にバッキングの厚さを加減して抑え金具が振動バネをその静止位置にクラシップしうるように調整しておき、実験航海中任意の時にマグネットに通電して船の静止位置をオッショログラフに記録する。Table 4·6 にクラシップ用マグネットの特性を示す。なおマグネット用直流電源としてセレン整流器（入力 A.C. 100 V, 全波整流, 出力 D.C. 75 V, 300 mA）を使用した。

Table 4·6 Characteristics of Magnet

Dimension of Magnet	30 mm $\phi$ × 25 mm
Coil Active Voltage	D.C. 100 V
Exciting Coil Current	115 mA
Minimum Coil Active Voltage	75 V
Liberty Voltage of Coil Action	5 V
Coil Resistance	867 Ω
Stroll of Metal Fitting	4 mm
Absorb Force of Metal Fitting (Min. Action)	30 g

板バネに使用した抵抗線歪計は長期間シリコン油中において安定に動作するように留意した。即ち紙ゲージを使用しその上面にセラック及びアクリル樹脂をコートした。抵抗線歪計は2枚宛並べて貼るので一枚のベースに2エレメントが並列になつたダブルゲージを特別注文によつて製作し、特性の安定をはかつた。Table 4·7 に抵抗線歪計の要目を示す。

Table 4·7 Characteristics of Wire Strain Gage

Type (LW-5)	(Tokyo Sokki made by Special Order)
Gage Length	5 mm (2 Elements Parallel Connection)
Resistance	$120 \pm 0.3 \Omega$
Dimension of Base Plate	15 mm × 15 mm
Coating	Shellac Undercoating, Acryl Rasin Coating
Coefficient of Sensitivity	1.88

#### 4·4·3 電気的二重積分装置の概要

加速度ピックアップの電気的出力を二重積分して上下動変位出力が得られるように Fig. 4·40 の構成による装置を製作した。本機は DA-2S (共和無線特注品) と称し、DM-1A (共和無線 1 エレメント動歪測定装置) の出力を変調波の状態のまま取出し増巾した後、高インピーダンス位相弁別及び検波を行い、CR 回路を 2 度通し最後に直流増巾器によりインピーダンスを下げて電磁オシログラフに記録するするもので、この装置の併用によつて加速度と変位の同時記録をすることが出来る。

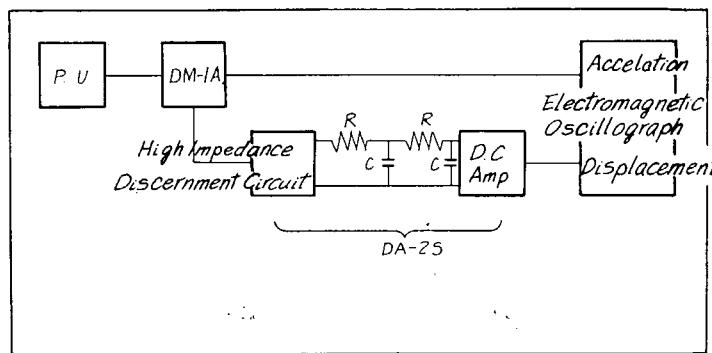


Fig. 4·40 Block Diagram of Double Integral Apparatus

定常正弦波入力  $E_i = E_m \sin pt$  に対する CR 二重積分回路の誤差および位相差はそれぞれ  $K^2$  および  $2\delta$  で示される。ここに一回積分の場合の出力  $E_0$  は

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= I e^{-t/CR} + \frac{E_m}{p CR} \cdot K \cdot \sin(pt - \delta) \\ K &= \left( 1 + \frac{1}{(p CR)^2} \right)^{-1/2} \\ \delta &= \tan^{-1} p CR \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \quad (6)$$

本回路においては  $CR = 16 \text{ sec}$  にとつてあるから二重積分誤差は Table 4·8 のようになる。定常波においては  $p CR = 10$  で略満足すべき結果が得られるが、非定常波においては (6) 式の減衰項の値がきいてくるので、 $p CR > 50$  にする必要があるが、出力が甚だしく減衰するので、周期 10 秒程度の超低周波では甚だ困難であることが判明する。

本装置は出力ドリフトの点においては電気回路、部品等に細心の注意を払い、平衡回路を採用し、

Table 4-8 Error of Integration

Period (sec)	$\rho$ CR	$K^2$	Error of Wave Height (%)	$2\delta$ (degree)	Phase Difference (%)
12	8.36	0.986	1.4	166.4	0.456
10	10.04	0.990	1.0	168.7	0.316
8	12.56	0.994	0.6	170.9	0.204
6	16.78	0.996	0.4	173.2	0.114
4	25.14	0.998	0.2	175.5	0.051

CR 回路の C には MP コンデンサー ( $1000 \text{ M}\Omega / 16 \mu\text{F}$ ) を使用したので、定常波に対しては安定な動作が得られた。しかし波浪中の実船試験の様な非定常波の場合にはしばしばスケールアウトするのを止むを得ないと認められる。

#### 4・4・4 計器の較正試験と特性

##### 4・4・4・1 加速度ピックアップの較正と特性

振動系の真空中の自由振動方程式は

$$\begin{aligned} \ddot{y} + n^2 y &= 0 \\ f_0 &= n/2\pi \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (7)$$

これは空气中においても近似的に成立する。従つて  $f_0$  は空气中の振動試験によつて得られる。

次はダンパー液中においては附加質量を考慮して振動方程式は

$$\begin{aligned} \ddot{y} + 2\varepsilon\dot{y} + n_1^2 y &= 0 \\ \text{固有振動数} \quad f_0' &= n_1/2\pi \\ \text{見掛けの周期} \quad T_1 &= \frac{2\pi}{\sqrt{n_1^2 - \varepsilon^2}} \\ \text{減衰常数} \quad h^2 &= (\varepsilon/n_1)^2 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (8)$$

Fig. 4-41 に Step Function を与えた場合の振動系の振動の模様を示す。図から  $f_0'$  及び  $h^2$  を計算することが出来、最適減衰常数  $h^2 = 0.5$  になるように、シリコン油の粘度を変えて数回の実験を行い、適當な粘度を決定した。

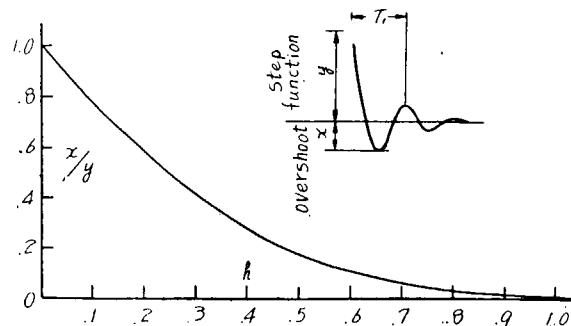


Fig. 4-41 Vibration due to Step Pulse

次に加速度のピックアップの較正は正弦波の上下運動を発生する振動台によつて行い、加速度  $1 \text{ g}$  当りの歪計のよみ（感度係数を 2.00 とおく）をピックアップの加速度感度とした。Table 4-9 に振

Table 4-9 Characteristics of Vibrator

Symbol	Type	Amplitude (mm)	Frequency (cps)	Acceleration (g)
A <sub>1</sub>	Crank Mechanism	44.5	0.75~2.5	0.1~1.1
A <sub>2</sub>	"	4.1	2.5~8	0.1~1.1
A <sub>3</sub>	" Matudairas " Vibrator	1.5	5 ~ 20	0.15~2.4

動台の特性を示す。

クランク機構は Fig. 4-42 に示すように、連桿の長さ  $l$  が短いとピストンの加速度は回転数の高次の項が入つて誤差が大となることに注意する必要がある。ピストンの加速度  $\ddot{x}_p$  は

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_p &= r\omega^2 \cos \omega t (1 + r/l) \\ \ddot{x}_p &= r\omega^2 \cos \omega t (1 - r/l) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

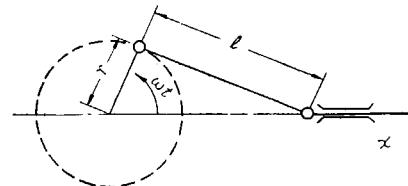


Fig. 4-42 Crank Mechanism of Vibration Machine

$A_1, A_2$ においては  $l = 300$  mm であるから加速度誤差はそれぞれ 15%, 1.4% となり、 $A_1$ においてはこの誤差は無視出来ないが、Peak-to-Peak の値をとれば誤差は打消されるのでこの方法によつてクランク機構の加速度を求めた。加速度ピックアップの振動数特性を Fig. 4-43 に示す。

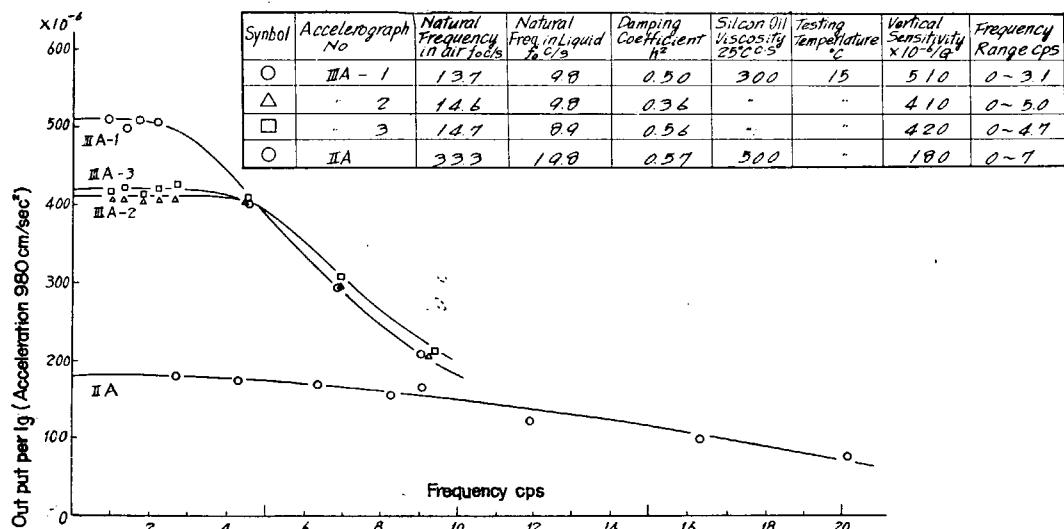


Fig. 4-43 Frequency Characteristic of Accerograph

#### 4・4・4・2 二重積分装置の較正

正弦波加速度を二重積分した出力は(6)式において  $\rho CR$  が充分大とした場合には Fig. 4-44 において

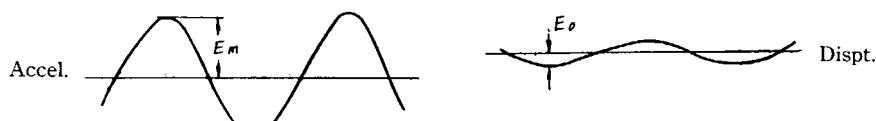


Fig. 4-44 Relation between Acceleration and Displacement

$$E_0 = -\frac{E_m}{p^2} \frac{1}{(CR)^2}$$

となり、変位出力は  $E_m$  の値だけではなく、振動数  $p/2\pi$  の函数となる。従つて加速度ピックアップには船体の上下運動と同じ周期と変位を与えるければ必要な較正を行うことが出来ない。しかしこれには非常に大きな装置を必要とし実用的でないので、加速度ピックアップが実船の運動によつて生ずる加速度に相当した正弦波歪出力を任意の周期にて発生する試験機を製作してこれによつて Fig. 4·45 のように較正を行つた。Table 4·10 にこの試験機の特性を示す。本試験機は円運動の水平成分のみをとり出して突棒に与え、突棒の先端が他端をクラシップした板バネの一端を押つけて振らせる機構を使用しているので、クラシク機構式のような波形誤差は全然ない。

一定加速度入力の場合の二重積分装置の周期  $T$  とオッショグラフの振巾  $a$  との関係を Fig. 4·46 に示す。本装置は周期 5 秒～13 秒の正弦波加速度を充分正確に二重積分することが判明した。

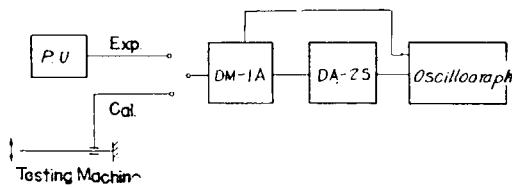


Fig. 4·45 Calibration

Table 4·10 Testing Machine Characteristics

Frequency	1/3~3 c.p.s.
Electric Motor	1/12 HP Series Motor
Wire Strain Gage	LW-5, 4 Bridge
Peak Strain observed	$335 \times 10^{-6}$ , $145 \times 10^{-6}$
Acceleration (A Type Accelerograph)	0.656 g and 0.284 g

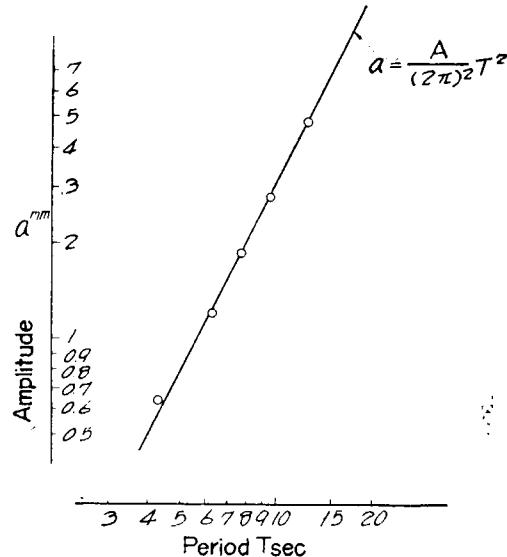


Fig. 4·46 Characteristics of Double Integral Apparatus (Constant Acceleration)

## 4·5 動 摆 計

### 4·5·1 原 理

船体のローリング、ピッキングを計測するために動揆計を用いたのであるが、北斗丸の実験においては、計器整備の時間的予猶がなかつたので、ペン書きのジャイロ式および振子式動揆計を使用した。この結果、記録方式としては是非とも電気式によるべきであるとの結論が得られたので、銀河丸についての本実験には以下に述べるような方式による電気的記録方式を採用した。

Fig. 4·47 は採用した動揆計の構成を示したものである。

ジャイロは船のローリング、ピッキングに影響を受けない。したがつて Fig. 4·48 に示すごとく、

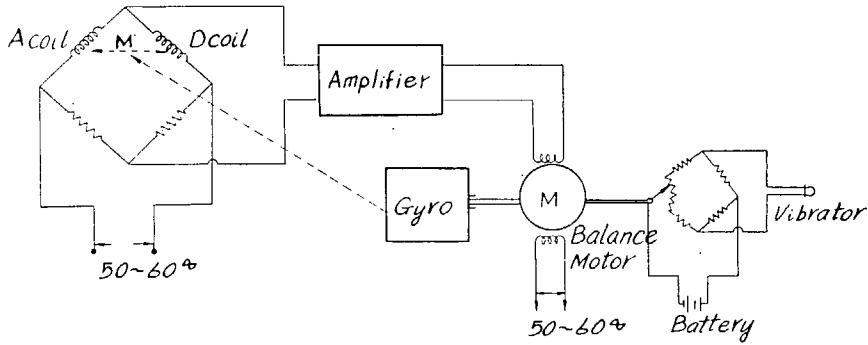


Fig. 4-47 Rolling Recorder

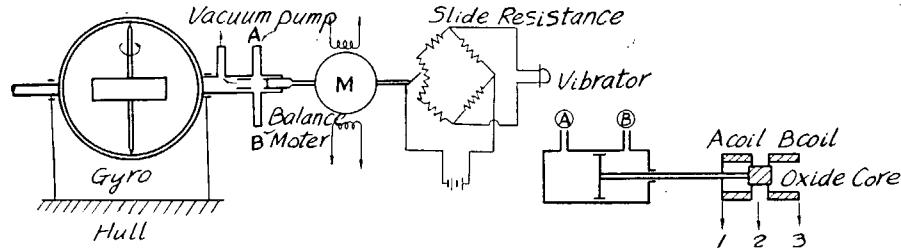


Fig. 4-48 Gyro Automatic Balancer

ジャイロの軸を、ローリング計は船体と $90^{\circ}$ に、ピッキング計は船体と平行に設置する。弁 A, B は真空シリンダー A, B に接続され、弁の開閉によりピストンを前後方向に運動さす。

ピストンの他端には、オキサイドコアが取付けられ、電磁ピックアップの L をその位置により変化させる。

Fig. 4-49のごとく Aコイル, Bコイルはそれぞれ、ブリッジの辺を構成しているから、L の変化により不平衡出力が、端子 1, 2 に現れ船体の動搖を電気的な量に変換することが出来る。

#### 4・5・2 自動平衡装置

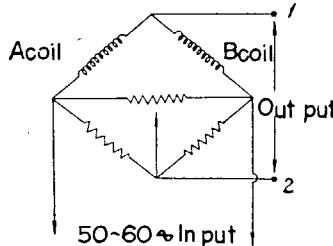


Fig. 4-49 Bridge Circuit

ジャイロの運動を自動的に記録するため Fig. 4-47 のごとき装置を使用した。

ブリッジの不平衡出力は増巾後、平衡電動機 M に印加される。M には位相検波の信号が印加され、左右に平衡点、すなわち入力が零となるまで回転する。

Fig. 4-48のごとく M は十字弁に連結されているから、ジャイロの偏角まで回転すれば弁は閉じられ、ピストンは中央の平衡点に静止する。

さらに船が動搖すれば、ジャイロにより弁は開かれ、ピストンはその方向に吸引されるためブリッジの平衡は破れ、前と同様に平衡点に達するまで平衡電動機は回転する。

平衡電動機の軸には Fig. 4-48のごとき摺動抵抗器が取付けられ、ブリッジを構成している。

このようにしてジャイロの偏角に比例したブリッジ出力が得られ、この信号を電磁オッショロにより記録する。Fig. 4-50 は本装置の増巾器を示す。

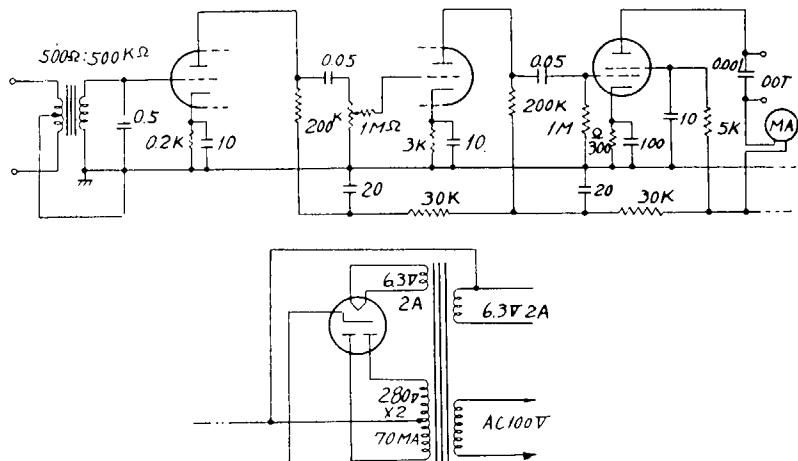


Fig. 4-50 Amplifier

#### 4・5・3 結 果

本装置は、他の計器（歪計、水圧計等）と共に、電磁オッショロによつて記録が得られるので解明が容易であつた。また電磁ピックアップを使用しているから出力が大で、増巾器も比較的簡単であり、調整箇所は少く、かつ、長期にわたつて使用するも誤差を生ずることが少なかつた。他方、真空ポンプ、ジャイロ等を使用するために装置が大型化する欠点を有するが、本実験においては一応満足すべき結果を得たと考えられる。

### 4・6 計測用配線工事その他

#### 4・6・1 計測用配線

前節まで述べた応力計、水圧計、水位計、加速度計、動揺計等の指示計測器はすべて上甲板中央部よりやや前方にあるジャイロ室わきに設けた特別の測定室内に配置し、計測はここで行つた。従つて測定室と測定点との間は平均 30~40 m、最大 60 m 位に達するので、この間のキャップタイヤーの配線は次の要領で行つた。

すなわち、銀河丸の場合には測定室内に 30 個のターミナルを有する 4 個のジャンクション・ボックスと、室内の Table 2-12 に示す位置に 2~30 個のターミナルを有する合計 19 個のジャンクション・ボックスを設け、配線をこのジャンクション間の配線とジャンクションと測定器及び測定点との間に分けて行つた。

ジャンクション間の配線は、実験の準備工事に先立つて銀河丸の改裝工事中に工事の一部として、4 芯シールド線を用いて半永久的な配線を行つた。これらの配線に要した全長は約 7000 m である。

#### 4・6・2 配線上の 2, 3 の問題

本実験では多数点の応力、水圧測定を行い、使用した測定器も別表のごとく多種多様で、かつ測定器と測定点の距離も数 10 m に及んだ。

従つて線間の相互誘導防害に関しては細心の注意を払う必要がある、本実験に於ても次のとき障害を経験した。

予備実験において測定を行つた際、各測定器相互干渉によるビートが記録に現れた。これは歪計搬送周波数が測定器により若干異なるため、導線より誘導されたビート現象であることがわかつた。そこで各 DM、及び DPM 型歪測定器の有する 5 KC 搬送波発振器を一台の発振器に共通に接続し、各搬送波の周波数差によつて生ずる障害を完全に防ぐことが出来た。又、電子管切換歪測定器の搬送波は 10 KC であるが、これも同様にして防いだ。

次に船体各所には配線に便なるため、ジャンクション・ボックスを設けたが、このジャンクション・ボックスの接地配線は充分注意して行う必要がある。1.5~2 mm 径の錫メッキ銅線でシールド線の外皮を一個、完全に半田付けし、纏めて船体にジャンクション・ボックス附近で接地するがよい。もしこれが不完全であると、測定中思ひぬ雑音が記録に混入する場合がある。

## 第5章 計測結果

### 5・1 海象・気象および本船状態の記録

北斗丸および銀河丸の試験時における海象、気象および本船状態の記録一覧表を Table 5・1 (a), (b) に示す。

主機回転数の欄はノッチの値で、( ) 内の数字は計測時間中における実回転数の平均値を示す。波およびうねりの推定波長および推定波高は目測によるものであり、ここにしるしてある出会い周期は舷側のある位置を波の山が通過する時刻よりもとめたもので加速度計、動揺計等の記録によつたものではない。海象スケッチの欄で  $\downarrow$  は北、 $\rightarrow$  は波の進行方向、 $\leftarrow$  はうねりの進行方向、 $\uparrow$  は風向を示す。スラミングの欄はブリッジにおいてその発生が感じられた時刻を示す。

銀河丸試験で特にひどい時化でスラミングの計測が最も多くおこなわれた当時の気圧配置図の一例として Fig. 5・1 (b) (p. 82) に 1 月 23 日午前 6 時の気圧配置を示してあるが、図に示すように気圧が低く風速 30 m/sec 以上で、波浪階級は High Sea であった。

また試験期間中の北斗丸および銀河丸の各タンクの状態を Table 5・2 および Table 5・3 に示す。

WEATHER SYMBOL (FOR RADIO)		
○ BLUE SKY	⊗ DUST STORM	⊕ SNOW
① P'LY CLOUDY	◎ FOG	⊖ HAIL
◎ OVERCAST	● RAIN	● THUNDER STORM
CODE FIG OF WIND FORCE		
Knot	Code Figure	Metre
0 ~ 2	○	0.0 ~ 1.2
3 ~ 7	○—○—	1.3 ~ 3.8
8 ~ 12	○—○—	3.9 ~ 6.4
13 ~ 17	○—○—	6.5 ~ 10.0
18 ~ 22	○—○—	11.1 ~ 15.5
23 ~ 27	○—○—	16.6 ~ 21.1
28 ~ 32	○—○—	22.2 ~ 26.7
33 ~ 37	○—○—	27.1 ~ 31.6
38 ~ 42	○—○—	32.1 ~ 36.6
43 ~ 47	○—○—	37.1 ~ 41.6
48 ~ 52	○—○—	42.1 ~ 46.6
53 ~ 57	○—○—	51.1 ~ 55.6
58 ~ 62	○—○—	56.1 ~ 60.6
63 ~ 67	○—○—	61.1 ~
FRONT		
▲▲▲	COLD	FRONT
●●●	WARM	
▲●▲	OCCLUDED	
▼●▼	STATIONARY	

Fig. 5・1 (a) "Ginga Maru" Weather Chart

Table 5·1 (a) List of Test

Exp. No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Date	29-1-13	1-15	1-15	1-16	1-16	1-16	1-16	1-16
Time when Test started	11.00	15.00	19.00	00.05	00.23	00.33	00.42	00.50
Measuring Time (sec.)	30	30	30	30	30	30	30	30
Weather								
Atmospheric Pressure (mb.)	1016.0	1022.0	1024.0	1021.7	1021.7	1021.7	1021.7	1021.7
Temp. (°C)	6.7	13.3		12	12	12	12	12
Humidity (%)								
Temp. of Sea Water (°C)								
Sea Area	Izuminada etc.	Iyonada	Suonada	Genkai-nada	do	do	do	do
Depth of Sea (m)	72	65	26	64	64	64	64	64
Position	34°36'N 135°04'E	33°44.1'N 132°17.8'E	33°51'N 131°15'E	34°01'N 130°14.5'E	do	do	do	do
Ship Condition	Course (deg.) Speed (kt.) Relative Speed to Water (kt.) Rev. of Main Engine (rpm) Shaft Horsepower (SHP) Displacement (t)	285 800	352 1182	282 1150	330 1044	330 658	330 415	330 232
Wind	Real Wind Direction (deg.) Relative Wind Direction (°) Real Wind Velocity (m/s) Relative Wind Velocity (m/s.) Wind Scale	160 Port 35	NNE Starb. 30 Fore 30	080 Starb. 30 Fore 30	ESE Calm	do	do	do
Wave	Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Direction of Wave (deg.) Wave Scale	7 0.2 35 7 165	3 0.3 10	Wave Scale 1	5 0.5 10 6 ESE	2.0 1.0 20 3 NNE	Exp. No. 4~8	
Rolling	Period (sec.) Max. Amplitude (deg.) Mean Amplitude (deg.)	10.4 1.9 —	14.3 0.5 —	13.4 2.0 —	10.5 2.1 1.0	8.4 1.5 1.0	6.6 2.0 1.0	6.0 1.0 —
Pitching	Period (sec.) Max. Amplitude (deg.) Mean Amplitude (deg.)	— — —	— — —	— — —	4.4 2.9 2.0	4.6 2.6 1.5	4.6 2.9 2.0	5.0 2.4 1.5
Sketch of Sea, Weather								
Slamming (min.)								
Remarks	Follow Seas Port	Head Seas Starb.	45°	Follow Seas	Follow Seas Starb.	45°		

Recording (Hokuto Maru)

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1-16 12.00	1-20 13.35	1-20 14.02	1-20 14.12	1-20 14.21	1-20 14.32	1-20 14.44	1-20 15.08	1-20 15.57	1-20 19.00
1018.9 13.9	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1005.3 14.4	1006.0 15.6
Nagasaki 72 32°46'N 129°42'E	Nomosaki 250 32°13'N 129°25'E	do 250	do 250	do 250	do 250	do 250	do 250	do 250	Koshiki Islands 790 31°29'N 129°31'E
132	150	60	60	60	60	60	285	285	105
157 1190	0 0	79 145	93 232	110 400	129 670	150 1030	130 620	130 620	150 990
E/N Port Fore 30 4 10	30 Port Fore 20 11 14	do	do	do	do	do	do	do	NE Port Fore 60 7 12
3 0.5 6 E/N	15 1.2~1.5	15 do	15 do	15 do	15 do	15 do	15 do	15 do	4 ... 0.7 6 NE 60 Port, Fore
12.1 1.4 —	4.9 1.8 —	10.0 1.0 —	8.3 1.4 —	10.5 1.4 —	12.0 1.4 —	11.0 1.5 —	10.5 5.0 —	11.8 4.6 —	12.5 4.0 —
4.2 1.0 —	4.8 4.0 —	3.6 1.5 —	3.6 1.3 —	3.5 1.5 —	3.3 1.5 —	3.1 1.5 —	4.6 1.8 —	5.1 2.9 —	5.3 3.7 —
Head Seas	Side Seas, Drift	Head Seas	do	do	do	do	Head Seas 45° Port	do	45°

Table 5·1 (a) List of Test

Exp. No.	19	20	21	22	23	24	25	26
Date	1-20	1-20	1-20	1-20	1-21	1-21	1-21	1-21
Time when Test started	19·18	19·32	19·40	19·48	02·00	02·11	02·19	02·28
Measuring Time (sec.)								
Weather								
Atmospheric Pressure (mb.)	1006.0	1006.0	1006.0	1006.0	1006.6	1006.6	1006.6	1006.6
Temp. (°C)	15.6	15.6	15.6	15.6	17.2	17.2	17.2	17.2
Humidity (%)								
Temp. of Sea Water (°C)								
Sea Area	Koshiki Islands	do	do	do	Hiuganada	do	do	do
Depth of Sea (m)	790	790	790	790	104	104	104	104
Position	31°29'N 129°31'E	do	do	do	30°54'N 130°48'E	do	do	do
Ship Condition								
Course (deg.)	105	105	105	105	30	30	30	30
Speed (kt.)								
Relative Speed to Water (kt.)								
Rev. of Main Engine (rpm)	130	110	90	75	150	130	110	90
Shaft Horsepower (SHP)	650	390	220	100	1110	715	408	230
Displacement (t)								
Wind								
Real Wind Direction (deg.)	NE	NE	NE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE
Relative Wind Direction (°)	Port 60°	do	do	do	Port 30°	do	do	do
Real Wind Velocity (m/s)	7	7	7	7	2	do	do	do
Relative Wind Velocity (m/s)	12	12	12	12	5	5	5	5
Wind Scale								
Wave								
Wave Length (m)	4	4	4	4	25	25	25	25
Wave Height (m)	0.7	0.7	0.7	0.7	2.5	2.5	2.5	2.5
Ratio of Wave Length to Wave Height	6	6	6	6	10	10	10	10
Period of Encounter (sec.)					10	10	10	10
Direction of Wave (deg.)	Port 60°	do	do	do	Port. Starb. 45°, 75°	do	do	do
Wave Scale								
Rolling								
Period (sec.)	7.7	8.4	6.5	7.5	8.3	8.8	10.6	10.6
Max. Amplitude (deg.)	1.5	2.0	1.5	1.4	2.4	2.1	2.9	4
Mean Amplitude (deg.)	—	—	—	—	1.5	1.5	—	—
Pitching								
Period (sec.)	5.8	5.3	5.7	6.2	4.8	5.5	6.7	6.4
Max. Amplitude (deg.)	3.1	3.3	4.6	3.5	11.4	12.5	6.8	7.9
Mean Amplitude (deg.)	—	—	—	—	6.0	6.0	—	—
Sketch of Sea, Weather								
Slamming (min.)								
Remarks	Head Seas 45° Port	do	do	Head Seas 45° Starb.	do	do	do	do

Recording (Hokuto Maru) (continued)

27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1-21 02.36	1-21 11.30	1-25 08.30	1-25 19.06	1-25 19.16	1-25 19.24	1-25 19.33	1-25 19.41	1-25 21.00	1-26 04.08
1006.6 17.2			1013.5 8.3	1013.5 8.3	1013.5 8.3	1013.5 8.3	1013.5 8.3	1014.6 7.8	1014.5 4.2
Hiuganada 104 do		Hiuganada 400 31°38'N 131°48'E	do 400 do	do 400 do	do 400 do	do 400 do	do 400 do	Bungo Suido 100 31°52.5'N 131°57.5'E	32°50'N 132°19'E
30			0	0	0	0	0	47	330
75 110			150 1050	130 700	110 450	90 250	70 150	135 752	150 1110
NNE 30° 2 5			NW Port Fore 30° 16 20	NW do 16 20	NW do 16 20	NW do 16 20	NW do 16 20	NW Port Fore 60° 11.5 13.5	NW Port Fore 10° 18 21
25 2.5 10 10 Port, Starb. 45°, 75°			25 2 12.5 5~6 Port Fore 45°	25 2 12.5 do do	25 2 12.5 do do	25 2 12.5 do do	25 2 12.5 do do	20 2.5 12 7 Right Port	30 2.5 12 6 Port Fore 5
10.6 2.3 —			11.8 2.8 1.5	11.1 1.9 —	10.0 2.0 —	7.1 1.4 —	5.8 1.5 —	11.1 2.9 —	5.8 1.8 1.5
7.4 7.3 —			4.3 3.1 2.0	— — —	— — —	5.4 4.4 —	4.0 3.7 —	2.6 8.4 —	4.4 6.0 4.0
	Arriving Time at Kago-shima	Departuring Time from Kago-shima							
Head Seas 45° Port	Zero Point was Photographed	Head Seas 45° Port	do	do	do	do	do	Right Port Side Seas	

Table 5·1 (a) List of Test

Exp. No.	37	38	39	40	41	42	43
Date	1-26	1-26	1-26	1-26	1-26	1-27	
Time when Test started	04·17	04·24	04·31	04·40	04·56		
Measuring Time (sec.)							
Weather							
Atmospheric Pressure (mb.)	1014.5	1014.5	1014.5	1014.5	1014.5		
Temp. (°C)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2		
Humidity (%)							
Temp. of Sea Water (°C)							
Sea Area	Bungo Suido	do	do	do	do		
Depth of Sea (m)	100	100	100	100	100		
Position	32°50'N 132°19'E	do	do	do	do		
Ship Condition	Course (deg.)	330	330	330	330	330	
	Speed (kt.)						
	Relative Speed to Water (kt.)						
	Rev. of Main Engine (rpm)	130	110	90	70	130	
	Shaft Horsepower (SHP)	710	410	230	110	710	
Wind	Displacement (t)						
	Real Wind Direction (deg.)	NW	NW	NW	NW	NW	
	Relative Wind Direction (°)	Port Fore 10	do	do	do	do	
	Real Wind Velocity (m/s)	18	18	18	18	18	
	Relative Wind Velocity (m/s)	21	21	21	21	21	
Wave	Wind Scale						
	Wave Length (m)	30	30	30	30	30	
	Wave Height (m)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	Ratio of Wave Length to Wave Height	12	12	12	12	12	
	Period of Encounter (sec.)	6	6	6	6	6	
Rolling	Direction of Wave (deg.)	Port Fore 5	do	do	do	do	
	Wave Scale						
Pitching	Period (sec.)	5.7	5.6	5.6	6.2	5.0	
	Max. Amplitude (deg.)	2.0	1.5	1.5	1.5	1.8	
	Mean Amplitude (deg.)	1.0	—	1.0	1.0	—	
Slamming	Period (sec.)	4.2	5.1	4.7	5.0	4.7	
	Max. Amplitude (deg.)	5.7	7.3	7.0	7.0	7.0	
	Mean Amplitude (deg.)	4.0	—	5.0	5.0	—	
Sketch of Sea, Weather						Departing Time from Hiroshima	
Slamming (min.)							
Remarks						Zero Point was Photo-graphed	

Recording (Hokuto Maru) (continued)

44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
1-28 13.02	1-28 13.11	1-28 13.36	1-28 14.04	1-28 14.14	1-28 14.56	1-28 15.08	1-28 15.17	1-28 15.32	1-28 15.47
1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3	1014.0 8.3
Bungo Suido 800~1230 32°36'N 132°27'E	do	do	do	do	do	do	do	do	do
do	do	do	do	do	do	do	do	do	do
330	330	330	340	340	030	030	030	030	030
150 1110	130 750	110 500	90 300	70 150	70 150	90 300	110 500	130 750	150 110
330 Right Head 35 41.5 max	330 do	330 do	340 do	340 do	340 Port Fore 50	340 do	340 do	340 do	340 do
40 4 10 Right Head Seas	40 4 10 do	40 4 10 do	40 4 10 do	40 4 10 do	40 4 10 Port Fore 50	40 4 10 do	40 4 10 do	40 4 10 do	40 4 10 do
9.1 4.5 1.0	7.7 3.0 1.5	4.5 2.0 1.0	6.2 2.5 1.0	6.8 2.0 1.0	6.2 2.5 1.5	5.6 2.0 1.5	6.9 3.0 1.5	6.6 2.5 1.5	8.0 3.0 1.5
5.0 3.7 2.0	3.7 3.5 2.0	4.0 3.7 2.0	4.0 3.7 2.0	5.3 8.1 3.5	6.2 9.7 4.0	7.1 9.7 3.0	5.4 11.0 4.0	4.9 9.0 5.0	5.3 9.0 4.0
Right Head Seas	do	do	do	do	Right Seas 45° Port	do	do	do	do

Table 5-1 (b) List of Test

Exp. No.	1	2	3	4	5	6	7	
Date	31-1-16	1-16	1-16	1-16	1-16	1-16	1-16	
Time when Test started	08.38	08.43	08.50					
Measuring Time (min.)	2	2	2	2	2	2	2	
Weather	Fair							
Atmospheric Pressure (mb.)	1019.6							
Temp. (°C)	9.0							
Humidity (%)	76							
Temp. of Sea Water (°C)	13.5	do	do	do	do	do	do	
Specific Gravity of Sea Water								
Depth of Sea (m)	2450							
Position	34°31'N 138°41'E							
Ship Condition	Course (deg.)	265	220	310	85	85	225	165
	Speed (kt.)							
	Relative Speed to Water (kt.)	11.0	12.0	10.6	11.6	10.5	9.7	8.5
	Rev. of Main Engine (rpm)	160	160	160	160	130	130	130
	Shaft Horsepower (SHP)							
Wind	Displacement (t)							
	Real Wind Direction (deg.)	270	225	310	294	295	318	297
	Relative Wind Direction (deg.)	0	S. 75	0	S. 150	P. 150	S. 60	S. 145
	Real Wind Velocity (m/s)	6	13	9	7.8	6.2	9	9.8
	Relative Wind Velocity (m/s)	11	11	14	4	3	10	13
Wave	Wind Scale	4	4	4	4	4	4	4
	Wave Length (m)	9~15						
	Wave Height (m)	0.4~0.6	do	do	do	do	do	do
	Ratio of Wave Length to Wave Height	20~25						
	Period of Encounter (sec.)	3~5	3~5					
Swell	Angle of Encounter (deg.)	0	S. 45	P. 45	180	180	S. 45	0
	Wave Scale	3	3	3	3	3	3	3
	Wave Length (m)	—	—	—	—	—	—	—
	Wave Height (m)	—	—	—	—	—	—	—
	Ratio of Wave Length to Wave Height	—	—	—	—	—	—	—
	Period of Encounter (sec.)	—	—	—	—	—	—	—
	Angle of Encounter (deg.)	—	—	—	—	—	—	—
	Swell Scale	—	—	—	—	—	—	—
	Sketch of Sea, Weather							
	Slamming (min.)							
Remarks								

Recording (Ginga Maru)

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1-16 09.30 2	1-16 2	1-16 2	1-16 2 Fair 1019.5 8.0 75 14.5	1-16 2	1-16 2	1-16 2	1-16 2	1-16 2	1-16 10.37 2 Fair 1016.5 11 85 20 280 34°31'N 138°41'E
310 8.5 130	310 6.9 110(108)	265 6.9 110(106)	220 7.2 110	85 8.0 110	85 5.6 70	220 2.1 70 (60)	265 1.8 70 (62)	310 2.4 70 (68)	278 11.0 10.3 160(155)
325 S. 10 8.4 13 4	324 S. 10 8.6 12 4	330 S. 50 10 12 4	315 S. 75 10.5 11 4	305 P. 110 7.8 5 4	310 P. 120 8.6 7 4	327 P. 100 8.4 8 4	320 S. 50 7.4 8 4	316 S. 5 7 8 4	278 0 15 20 7
do P. 45 3	do P. 45 3	do 0 3	do 3.5 S. 45 3	do 180 3	do 180 3	do S. 45 3	do 0 3	do P. 45 3	25 1 25 25 0 6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									

Table 5·1 (b) List of Test

Exp. No.	18	19	20	21	22	23	24
Date	1-17	1-17	1-17	1-17	1-17	1-17	1-17
Time when Test started	09.15	09.35	09.55	10.13	10.33	10.50	11.17
Measuring Time (min.)	2	2	2	2	2	2	2
Weather	Fair			Fair			
Atmospheric Pressure (mb.)	1017.5			1018.0			
Temp. (°C)	10.5			10			
Humidity (%)	87			81			
Temp. of Sea Water (°C)	15.0	do	do	15	do	do	do
Specific Gravity of Sea Water							
Depth of Sea (m)	500			500			
Position	35°06' N 139°47' E			35°06' N 139°47' E			
Ship Condition	Course (deg.)	180	0	180	0	180	0
	Speed (kt.)	11.85	12.25	10.01	10.50	8.348	9.006
	Relative Speed to Water (kt.)	11.5	12.0	10.3	9.5	8.5	8.0
	Rev. of Main Engine (rpm)	160	160	130	130	110	110
	Shaft Horsepower SHP						
	Displacement (t)						
Wind	Real Wind Direction (deg.)	—	80	80	180	35	345
	Relative Wind Direction (deg.)	0	S. 25	S. 10	0	S. 15	P. 20
	Real Wind Velocity (m/s)	0	3	1.2	1.5	3.4	2.7
	Relative Wind Velocity (m/s)	6	7	5.5	3.5	7	2
	Wind Scale	0	2	1	1	3	2
Wave	Wave Length (m)	—	—	—	—	0.3	0.5
	Wave Height (m)	—	—	—	—	0.1	0.2
	Ratio of Wave Length to Wave Height	—	—	—	—	—	—
	Period of Encounter (sec.)	—	—	—	—	0	0
	Angle of Encounter (deg.)	—	—	—	—	1	1
	Wave Scale	—	—	—	—	—	—
Swell	Wave Length (m)	—	—	20	—	—	—
	Wave Height (m)	—	—	0.2	—	—	—
	Ratio of Wave Length to Wave Height	—	—	40	—	—	—
	Period of Encounter (sec.)	—	—	—	—	—	—
	Angle of Encounter (deg.)	—	—	S. 15	—	—	—
	Swell Scale	—	—	1	—	—	—
Sketch of Sea, Weather							
Slamming (min.)							
Remarks	Speed Test	do	do	do	do	do	do

## Recording (Ginga Maru) (continued)

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1-17 11.43 2	1-20 13.35 2	1-20 13.50 2	1-20 14.13 2	1-20 14.27 2	1-20 14.35 2	1-20 14.41 2	1-21 13.25 2	1-21 13.30 2	1-21 13.38 2
	Cloudy 1017.7 13.0 89 do 8.8 1.026 15 35°35'N 140°00'E					Cloudy 1018.5 13 89 do 9 1.025 25 35°29'N 139°30'E	Partly Cloudy 1019.5 12 80 do 16.5 25 6000 35°25'N 142°58'E		
0 5,664 4.2 70	230 0 0 0	240 9.1 70 110(116.2)	240 130(139.0)	240 160(165.6)	240 175(176.0)	210 160(158.5)	350 160(159.5)	305 160(158.0)	35
285 P. 120 3.5 4 3	0 S. 130 3 3 2	0 S. 120 3 2 1	290 S. 50 4 5	300 S. 60 5 5.2	290 S. 50 4 4	240 S. 30 3 1	0 S. 15 9 13 5	350 S. 45 10.5 13 5	5 P. 30 9 13 5
1.2 0.3 — — P. 170 1	2.5 0.2 — 2 S. 130 1	do do — 2 S. 130 1	2.5 0.1 — 2 S. 130 1	do do — 2 S. 140 1	2.5 0.3 — 2 S. 140 1	11 0.5 22 6 0	do do — 6 S. 45	do do 7 P. 45 3	do do 9 P. 45 5
— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	32 1.5 21 0 —	do do — S. 45 5	do do — P. 45 5
0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+
do	Zero Point Measuring	Test in Calm Sea	do	do					

Table 5·1 (b) List of Test

Exp. No.	35	36	37	38	39	40	41
Date	1-21	1-21	1-21	1-21	1-21	1-21	1-21
Time when Test started	13·55	14·01	14·09	14·13	14·19	14·27	14·38
Measuring Time (min.)	2	2	2	2	2	2	2
Weather	Partly Cloudy		do				
Atmospheric Pressure (mb.)	1019.5		1020.0				
Temp. (°C)	12.0		12.0				
Humidity (%)	80		72				
Temp. of Sea Water (°C)	16.5	do	16.5	do	do	do	do
Specific Gravity of Sea Water	1.029		1.029				
Depth of Sea (m)	6,000		6000				
Position	35°25' M 142°58' E		35°25' N 142°58' E				
Ship Condition	Course (deg.)	170	170	305	0	45	45
	Speed (kt.)						
	Relative Speed to Water (kt.)	12.5	11.0	9.7	8.2	8.6	7.2
	Rev. of Main Engine (rpm)	160(165.5)	130(139.0)	130(131.5)	130(128.0)	130(131.5)	110(111.0)
	Shaft Horsepower (SHP)						
	Displacement (t)						
Wind	Real Wind Direction (deg.)	30	15	25	40	45	15
	Relative Wind Direction (deg.)	P. 100	P. 135	S. 60	0	0	P. 20
	Real Wind Velocity (m/s)	8.5	9.5	11.5	10.5	7.7	9.5
	Relative Wind Velocity (m/s)	5.5	5	12	13	12	12
	Wind Scale	5	5	5	5	4	5
Wave	Wave Length (m)	11					
	Wave Height (m)	0.5	do	do	do	do	do
	Ratio of Wave Length to Wave Height	22					
	Period of Encounter (sec.)	12	12	8	6	6	7
	Angle of Encounter (deg.)	P. 170	P. 170	S. 75	0	P. 20	P. 45
	Wave Scale	3	3	3	3	3	3
Swell	Wave Length (m)	32	do	do	do	do	do
	Wave Height (m)	1.5	do	do	do	do	do
	Ratio of Wave Length to Wave Height	21					
	Period of Encounter (sec.)	180	180	S. 45	0	P. 45	P. 45
	Angle of Encounter (deg.)	5	5	5	5	5	5
	Swell Scale						
Sketch of Sea, Weather							
Slamming (min.)							
Remarks							

Recording (Ginga Maru) (continued)

42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
1-21 14.43 2	1-21 14.49 2	1-21 14.55 2	1-21 15.04 2	1-21 15.12 2	1-21 15.20 2	1-22 08.58 2	1-22 13.31 2	1-22 13.37 2	1-22 13.45 2
do	do	do	do	do	do	Cloudy 1017.5 9.0 84 16.2 1.027	Cloudy 1013.5 10.5 88 11.4 1.028 7000	do	do
						37°22' N 146°01' E	37°53' N 146°34' E		
315	180	180	315	10	55	50 11.5	80	125	35
6.7 110(109.0)	7.2 110(111.5)	6.6 70(77.0)	3.2 70(67.0)	2.2 70(63.5)	3.1 70(64.5)	10.5 160(157)	12.0 160(163)	11.8 160(162.5)	11.3 160(159.5)
S. 35 S. 60 9 10 5	P. 35 P. 120 8.5 5 5	S. 30 S. 135 9 6 5	S. 35 S. 90 10 10 5	25 0 8 9 5	40 P. 15 7 8.5 4	45 45 9 15 5	80 0 6 12 4	180 S. 45 5 11 4	113 S. 67 7 10 4
do	do	do	do	do	do	9 0.4 23	5 0.5 10	do	do
S. 7 S. 45 3	P. 8 P. 45 2	P. 8 P. 150 3	S. 7 S. 45 2	5 0 3	5 P. 15 3	3 0 4	2 0 3	P. 2 S. 45 3	2 S. 45 3
S. 45 5	do	do	do	do	do	30 5 6 8 5	23 2 12 8 3	do	23 1.5 13 8 3

Table 5·1 (b) List of Test

Exp. No.	52	53	54	55	56	57	58	
Date	1-22	1-22	1-22	1-22	1-22	1-22	1-22	
Time when Test started	13·50	13·58	14·03	14·09	14·15	14·21	14·26	
Measuring Time (min.)	2	2	2	2	2	2	2	
Weather								
Atmospheric Pressure (mb.)	1013.5							
Temp. (°C)	10.5							
Humidity (%)	88							
Temp. of Sea Water (°C)	11.4	do	do	do	do	do	do	
Specific Gravity of Sea Water	1.028							
Depth of Sea (m)	7000							
Position	37°53' N 146°34' E							
Ship Condition	Course (deg.) Speed (kt.) Relative Speed to Water (kt.) Rev. of Main Engine (rpm) Shaft Horsepower (SHP) Displacement (t)	350 11.5 160(162.0)	350 10.5 130(137.5)	35 9.5 130(135.0)	305 9.0 130(133.0)	305 9.0 110(114.5)	350 8.3 110(117.5)	35 7.8 110(118.5)
Wind	Real Wind Direction (deg.) Reiative Wind Direction (deg.) Real Wind Velocity (m/s) Relative Wind Velocity (m/s) Wind Scale	113 S. 157 5 6 3	113 S. 67 5 5 3	113 S. 67 6 8 4	113 S. 135 5 1 3	113 S. 135 5 1 3	113 S. 67 7 7 4	113 S. 67 6 8 4
Wave	Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Angle of Encounter (deg.) Wave Scale	5 0.5 10 2 0 3	do do do 2 0 3	do do do 2 0 3	do do do 2 0 3	do do do 2 0 3	do do do 2 0 3	do do do 2 0 3
Swell	Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter sec. Angle of Encounter,(deg.) Swell Scale	23 2 12 8 0 3	24 1.6 15 8 0 3	do do do 8 0 3	25 2 13 7 0 3	23 2 12 8 0 3	24 2 12 7 0 3	22 1.8 12 10 P. 45 3
Sketch of Sea, Weather								
Slamming (min.)								
Remarks								

Recording (Ginga Maru) (continued).

59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
1-22	1-22	1-22	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23
14.30	14.36	14.41	06.17	06.25	06.31	06.44	06.50	06.59	07.10.
2	2	2	3	3	3	3	3	5	5
			Rain				Rain		
			1013.0				993.0		
			989.5				4		
			10.0	5			93		
			88	95			9		
do	do		11.8	9	do	do	1.028		
			1.028	1.028			1.028		
			7,000	5,400			5,400		
			37°53'N 146°24'E	40°12'N 147°26'E			40°12'N 147°26'E		
35	350	305	310	350	35	180	180	310	350
5.8	4.8	4.5	5.8	2.6	3.7	12.0	10.3	1.8	1.5
70(70.0)	70(75.5)	70(69.3)	160(146)	160(141)	160(146)	160(158)	130(136.5)	130(120)	130(118)
do	113	135	0	355	10	0	0	10	355
	113	S. 135	S. 45	0	P. 45	180	180	S. 60	0
	8	8	22	23	22	25	24	25	24
	8	6	23	25	23	20	19	25	23
	4	4	9	9	9	10	9	10	9
do	do	do	18 2.5 7	do	do	do	do	do	do
do	2	2	3	3	3	5	4	2	3
	0	S. 45	S. 45	0	P. 25	180	180	S. 45	0
	3	3	High Sea	do	do	do	do	do	do
23	23	do	40	do	do	do	do	do	do
1.8	2		5		do	do	do	do	do
13	12		8						
9	9	9	7	5	7	15	13	8	7
P. 45	0	S. 45	S. 45	0	P. 25	S. 165	180	S. 45	0
3	3	3	High Sea	do	do	do	do	do	do
									1, 2(2), 4

Table 5·1 (b) List of Test

Exp. No.	69	70	71	72	73	74	75
Date	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23	1-23
Time when Test started	07·32	07·43	07·51	07·59	13·32	13·37	13·47
Measuring Time (min.)	3	3	4	3	(2)	3	3
Weather	Rain		Rain		Partly Cloudy		
Atmospheric Pressure (mb.)	993.0		994.5		998.5		
Temp. (°C)	4		4		3.5		
Humidity (%)	93		93		69		
Temp. of Sea Water (°C)	9	do	9	do	10.0	do	do
Specific Gravity of Sea Water	1.028		1.029		1.029		
Depth of Sea (m)	5400		5400		.5500		
Position	40°12'N 147°26'E		40°12'N 147°26'E		40°35'N 146°50'E		
Ship Condition	Course (deg.)	30	30	350	310	340	340
	Speed (kt.)						25
	Relative Speed to Water (kt.)	1.9	6.1	2.9	4.2	6.9	6.6
	Rev. of Main Engine (rpm)	130(119)	175(149)	175(148)	175(147)	160(145.5)	160(145.7)
	Shaft Horsepower (SHP)						160(144.3)
Wind	Displacement (t)						
	Real Wind Direction (deg.)	15	355	0	0	340	340
	Relative Wind Direction (deg.)	P. 30	P. 30	0	S. 45	0	P. 50
	Real Wind Velocity (m/s)	23	24	22	23	12	12
	Relative Wind Velocity (m/s)	23	25	23	24	15	16
Wave	Wind Scale	9	9	9	9	6	6
	Wave Length (m)	18				14	
	Wave Height (m)	2.5	do	do	do	4~5	
	Ratio of Wave Length to Wave Height	7				3~4	
	Period of Encounter (sec.)	2		2	3	25	20
	Angle of Encounter (deg.)	P. 45	do	0	S. 45	0	P. 45
Swell	Wave Scale	High Sea	High Sea	do	do	6	6
	Wave Length (m)	40		40		46	
	Wave Height (m)	5	do	5	do	6~7	
	Ratio of Wave Length to Wave Height	8		8		7~8	
	Period of Encounter (sec.)	7	7	6	8	15	10
	Angle of Encounter (deg.)	P. 60	P. 30	S. 15	S. 60	0	P. 45
Sketch of Sea, Weather	Swell Scale	High Sea	do	do	do	5	5
Slamming (min.)	1, 2, 3	0.5(2) 2.5(4)	1, 2, 5(3)			1.5	3(2)
Remarks							

Recording (Ginga Maru) (continued)

76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
1-23 13.53 3	1-23 14.10 3	1-23 14.16 3	1-23 14.21 3	1-23 14.30 10	1-23 14.41 10 Cloudy 999.5 4.0 69 9.2 1.029 5500 40°35'N 146°50'E	1-23 14.54 10 Partly Cloudy 1004.0 3.8 do 4.5 1.027 2000 41°02'N 143°25'E	1-24 09.33 2 Snow 1003.0 0 100 7 1.027 1300 41°21'N 142°12'E	1-24 13.36 2 Snow 1007.5 2.5 100 9 1.028 200 41°27'N 141°35'E	1-25 09.30 2 Snow 1007.5 2.5 100 9 1.028 200 41°27'N 141°35'E
295 5.7 160(146.7)	295 4.4 130(119.7)	340 3.8 130(120.3)	25 5.7 130(118.0)	25 7.9 175(153.0)	350 10.7 175(155.3)	300 11.5 175(160.7)	230 12.0 160(160)	220 12.0 160(163.5)	280 10.2 160(159)
340 S. 50 12 16 6	340 S. 50 12 15 6	340 0 12 14 6	340 P. 40 12 15 6	340 P. 40 12 16 6	340 S. 10 12 16 6	340 S. 45 12 16 6	250 S. 20 10 15 6	320 S. 45 7 12 4	280 0 19 24 .8
do 10 S. 45 6	do 12 S. 45 6	do 13 0	do 11 P. 45	do 7 P. 45	do 9 0	do 8 S. 45	2 2 0	30 1 2 2 3	10 1 19 24 .5
do 10 S. 45 5	do 13 S. 45 5	do 7 0	do 10 P. 45	do 8 P. 45	do 7 0	do 7 S. 45	8 7 0	10 3 S. 45	1.5 23 0
			0.5, 1, 1.5 2, 3.5	2, 2.5(2) 3.5(3), 5.5	2(4) 7, 8	7			
				Very Severe		Very Severe			

Table 5.1 (b) List of Test

Exp. No.	86	87	88	89	90	91	92
Date	1-25	1-25	1-25	1-28	1-28	1-28	1-28
Time when Test started	09.45	14.10	14.30	13.30	15.43	15.48	15.55
Measuring Time (min.)	2	2	(1)	2	3	2.30	2.19
Weather	Snow	Snow		Cloudy	Partly Cloudy		
Atmospheric Pressure (mb.)	1007.5			989.0	987.5		
Temp. (°C)	2.5			8.3	10		
Humidity (%)	100			84	76		
Temp. of Sea Water (°C)	9	9	do	9	9	do	do
Specific Gravity of Sea Water	1.028			1.026	1.027		
Depth of Sea (m)	200			270	800		
Position	41°27'N 141°35'E	Hakodate Harbor		41°37'N 141°10'E	41°30'N 141°40'E		
Ship Condition	Course (deg.)	270		165	170	125	215
	Speed (kt.)		0				
	Relative Speed to Water (kt.)	10.7	0	120	9.0	10.0	11.0
	Rev. of Main Engine (rpm)	175(170)	0	160(160)	160(152)	160(155)	160(164)
	Shaft Horsepower (SHP)						
	Displacement (t)						
Wind	Real Wind Direction (deg.)	296		165	200	200	200
	Relative Wind Direction (deg.)	S. 10		0	S. 15	S. 60	P. 15
	Real Wind Velocity (m/s)	14.5		10	8.5	9	8.5
	Relative Wind Velocity (m/s)	19		15	13	13	13.5
	Wind Scale	7		5	5	5	5
Wave	Wave Length (m)	10		15	10~20	10~20	
	Wave Height (m)	1		1	1.5	1.5	
	Ratio of Wave Length to Wave Height	10		15	7~13	7~14	
	Period of Encounter (sec.)			5	2~4		3~4
	Angle of Encounter (deg.)	S. 10		0	0	S. 45	P. 45
	Wave Scale	5		3	5	5	5
Swell	Wave Length (m)	35			30~50		
	Wave Height (m)	1.5			1.5~3	do	do
	Ratio of Wave Length to Wave Height	23			20		
	Period of Encounter (sec.)				5		5~6
	Angle of Encounter (deg.)	S. 10			0	S. 45	P. 45
	Swell Scale				5	5	5
Sketch of Sea, Weather							
Slamming (min.)							
Remarks		Anchoring Test	Zero Point Measuring				

### Recording (Ginga Maru) (continued)

93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
1-28 16.01 2.15	1-28 16.13 3	1-28 16.19 3	1-28 16.46 3	1-28 16.52 3	1-28 17.00 2.39	1-29 09.30 987.5 1 85 9 1,027 5200 40°14' N 145°20' E	1-29 09.43 15.17	1-29 (2) cloudy	1-29 10.02 2
do									
170 10.5 175(164)	125 11.2 175(164.5)	160 10.7 175(169.5)	205 11.3 175(169)	P. 250~70 12.0 60° 9.3 120° 6.0	S. 70~250 12.7 60° 8.1 120° 6.3	90 14~3.8	270 5.3	do	do
200 S. 15 8.5 15 5	200 S. 60 8.5 13 5	200 S. 30 8.5 15 5	200 S. 90 8.5 15 5	200 — 8.5 13 5	200 — 8.5 10~15 5	280 14 12~22 7	290 15 17 7	do	do
do 4 0 5	do 3~4 S. 45 5	do 3 0 5	do P. 45 5	do — — 5	do — — 5	10~15 1~2 5~15 — High Sea	do 3 S. 23 do	do 3 S. 23 do	do
do 5 0 5	do 5~6 S. 45 5	do 4~5 0 5	do P. 45 5	do — — 5	do — — 5	30~50 4~5 6~10 — High Sea	do 7 S. 23 do	do do	do
									
		0.5, 1, 1.5						Missing Time	
				Turning Circle Test	do	do		Same as Ex. 100	do

Table 5·1 (b) List of Test

Exp. No.	103	104	105	106	107	108	109
Date	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29
Time when Test started	10·20	10·34	10·57	11·05	11·21	11·28	11·35
Measuring Time (min.)	5·24	7·12	5·30	10	4·09	2	2
Weather	Cloudy			Snow	Cloudy		Partly Cloudy
Atmospheric Pressure (mb.)	987.5						
Temp. (°C)	1						
Humidity (%)	85						
Temp. of Sea Water (°C)	9	do	do	do	do	do	do
Specific Gravity of Sea Water	1.027						
Depth of Sea (m)	5200						
Position	40°14'N 145°20'E						
Ship Condition							
Course (deg.)	225	315	315	276	225	225	275
Speed (kt.)							
Relative Speed to Water (kt.)	7.5	7.3	7.0	6.0	8.0	6.0	4.5
Rev. of Main Engine (rpm)	160(148.7)	160(145.9)	175(152.2)	175(152)	175(154.3)	140(135)	140(128.9)
Shaft Horsepower (SHP)							
Displacement (t)							
Wind							
Real Wind Direction (deg.)	275	300	300	280	285	295	275
Relative Wind Direction (deg.)	S. 45	P. 45	P. 45	S. 5	S. 45	S. 45	0
Real Wind Velocity (m/s)	16	15	15	15	16	15	17
Relative Wind Velocity (m/s)	19	17	18	18	19	18	19
Wind Scale	7	7	7	7	7	7	7
Wave							
Wave Length (m)	10~15			8~15			5~12
Wave Height (m)	1~2	do	do	1~2	do	do	2
Ratio of Wave Length to Wave Height	5~15			7~8			3~6
Period of Encounter (sec.)	3~4	3~4	2~3	2~3	2~3		2~3
Angle of Encounter (deg.)	S. 45	P. 45	P. 45	0	S. 45	do	0
Wave Scale	High Sea	do	do	do	do		High Sea
Swell							
Wave Length (m)	30~50			30~60	40~60		30~50
Wave Height (m)	4~5	do	do	3~6	4~6	do	4~6
Ratio of Wave Length to Wave Height	6~10			10	10		8
Period of Encounter (sec.)	7	7	6	6	8	6	6
Angle of Encounter (deg.)	S. 45	P. 45	P. 45	0	S. 45	S. 45	0
Swell Scale	High Sea	do	do	do	do	do	do
Sketch of Sea, Weather							
Slamming (min.)		Just after started the Motor	0.25, 3.5			1 Time	
Remarks							

Recording (Ginga Maru) (continued)

110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-29	1-30	1-30
11.45	15.15	15.28	16.01	16.15	16.28	16.38	20.30	09.15	13.40
2.02	6.35	5.52	4.59	5	5.50	11	3	5	5
	Cloudy						Cloudy	Partly Cloudy	do
	987.5						991.5	1001.5	1002.5
	5						2.0	3.0	5.0
do	84	do	do	do	do	do	82	84	54
	9						5.5	7.5	7.5
	1.028							1.024	1.028
	5300						6000		8000
	38°N 146°E						40°03'N 145°53'E	39°12'N 144°47'E	38°40'N 144°13'E
310	270	225	315	315	270	225	225	225	280
5.0	3.5	6.0	6.0	7.0	3.5	6.5	5.0	6.5	4.6
140(133.5)	160	160	160	175	175	175	175	160(144.1)	160(141.2)
270	285	280	280	280	280	280	293	278	300
P. 45	S. 5	S. 45	P. 45	P. 40	P. 5	S. 45	S. 60	S. 45	S. 10
17	22	22	25	22	24	24	29	15	18
19	24	24	27	25	26	26	30	17	20
7	9	9	10	9	10	10	11	7	7
{ do	10~15 1.5~2.5 6	{ do	do	do	do	do		10 2 5	50 2.5 20
2~3	4	4	4	3	3	3		1.5	10
P. 45	0	S. 40	P. 40	P. 40	0	S. 40	S. 40	S. 40	0
do	do	do	do	do	do	do	do	9	High Sea
{ do	30~40 4~7 6~8	{ do	do	do	do	do	60 6 10	70 8 9	90 6~7 13~15
8	8	8	8	8	8	8		6	11
P. 45	0	S. 40	P. 40	{ do	0	S. 40	S. 40	S. 40	0
do	do	do	do	High Sea	do	7	9	9	High Sea
	1 Time								
								Night	

Table 5.1 (b) List of Test

Exp. No.	120	121	122	123	124	125	126
Date	1-30	1-30	1-30	1-31	2-1	2-1	2-1
Time when Test started	13.50	14.00	14.09	9.15	9.00	9.16	13.15
Measuring Time (min.)	5	5	3	2	1	1	(1)
Weather	Partly Cloudy	do		Fair	Cloudy		Fair
Atmospheric Pressure (mb.)	1002.5	1003.0		1015.0	1013.5		
Temp. (°C)	5.0	5.5		9.5	7.5		
Humidity (%)	54	54		74	68		
Temp. of Sea Water (°C)	7.5	6.5		8.0	13.5		
Specific Gravity of Sea Water	1.028	1.028		1.027	1.028		
Depth of Sea (m)	8000	8000		2000	500		
Position	34°40' N 144°13' E	38°40' N 144°13' E		37°N 142°E	Off Katsuyama		Off Chiba
Ship Condition	Course (deg.) Speed (kt.) Relative Speed to Water (kt.) Rev. of Main Engine (rpm) Shaft Horsepower (SHP) Displacement (t)	280 5.2 175(149.4)	325 6.9 175(150.6)	235 7.2 175(142.2)	305 11.5 160(158)	180 14.12 175(172.4)	0 13.34 175(172.3)
Wind	Real Wind Direction (deg.) Relative Wind Direction (deg.) Real Wind Velocity (m/s) Relative Wind Velocity (m/s) Wind Scale	S. 15 19 21 8	P. 30 17.4 20 8	S. 50 18.8 20 8	S. 20 7.3 12 4	P. 140 10 9 5	50 30 10 5 — — 0 14 0
Wave	Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Angle of Encounter (deg.) Wave Scale	50 2.5 20 5 0 High Sea	do	do	5 1 5 2 0 3	6~7 1 6~7 2~3 180 3	do — 2~3 0 0 3
Swell	Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Angle of Encounter (deg.) Swell Scale	90 6~7 13~15 8 S. 10 High Sea	do	do	15 4 4 3 0 2	— — — — — —	— — — — — —
Sketch of Sea, Weather							
Slamming (min.)							
Remarks					Speed Test	do	Zero Point Adjustment

Recording (Ginga Maru) (continued)

127	128	129	130	131	132	Exp. No.
2-1 13.43 4.48	2-1 13.59 5.59	2-1 14.14	2-1 14.45	2-1 15.04	2-1 15.23	Date Time when Test started Measuring Time (min.) Weather Atmospheric Pressure (mb.) Temp. (°C) Humidity (%) Temp. of Sea Water (°C) Specific Gravity of Sea Water Depth of Sea (m)
do	do	do	do	do	do	Position Off Chiba
160	160	160	160	130	130	Ship Condition Course (deg.) Speed (kt.) Relative Speed to Water (kt.) Rev. of Main Engine (rpm) Shaft Horsepower (SHP) Displacement (t)
—	—	—	—	—	—	Wind Real Wind Direction (deg.) Relative Wind Direction (deg.) Real Wind Velocity (m/s) Relative Wind Velocity (m/s) Wind Scale
—	—	—	—	—	—	Wave Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Angle of Encounter (deg.) Wave Scale
—	—	—	—	—	—	Swell Wave Length (m) Wave Height (m) Ratio of Wave Length to Wave Height Period of Encounter (sec.) Angle of Encounter (deg.) Swell Scale
 35°	 15°	 35°	 15°	 35°	 0	Sketch of Sea, Weather
						Slamming (min.)
Turning Circle Test	do	do	do	do	do	Remarks

Table 5-2 Sounding Table

Items	Date	Wednesday 13th Jan.		Friday 15th Jan.		Saturday 16th Jan.		Wednesday 20th Jan.		Thursday 21st Jan.	
		A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.
Fresh Water											
F. P. T.		29.00	29.00	29.00			29.00	29.00		29.00	
No. 1 T.		52.50	41.00	36.80			11.40	49.00		47.40	
No. 8 T.	{ P. S.	23.10 18.56	23.10 18.56	20.60 18.56			23.10 18.56	21.60 18.56		18.40 18.56	
A. P. T.		14.09	13.70	12.70			12.70	13.10		12.70	
Total		137.25	125.36	117.66			94.76	131.26		127.06	
Daily Consump.											
Feed Water											
No. 6 T.	{ P. S.	13.00 12.30	10.90 11.70	13.60 13.77			12.50 9.50	10.80 11.70		11.20 12.40	
No. 7 T.	{ P. S.	59.71 50.14	59.71 50.14	55.00 46.30			50.50 37.50	45.50 50.14		52.80 45.30	
Total		135.15	132.45	128.67			110.00	118.14		121.70	
Daily Consump.											
Coff.	{ 1 (E. S. R.) 2 (Drain T.) 3 (No. 5~6 T.)										
Draft	{ Fore m Aft. Mean Trim B/S	3.00 4.56 3.78	2.97 4.53 3.75	2.87 4.59 3.73			2.68 4.58 3.63	2.80 4.58 3.69		2.86 4.46 3.66	
Dispt.		1,744	1,726	1,714			1,654	1,690		1,672	
Oil Tank											
No. 2 T.	{ P. S.	16.50 30.40	14.30 30.40	11.00 30.00			0.20 18.80	0.20 14.00		0.20 0.20	
No. 3 T.	{ P. S.	34.50 34.50	34.50 34.50	34.50 34.50			35.20 33.80	35.20 32.20		35.20 32.70	
No. 4 T.	{ P. S.	12.80 9.10	12.80 9.10	13.90 9.00			12.80 9.20	14.40 8.25		14.30 8.20	
No. 5 T.	{ P. S.	17.20 12.60	17.20 12.60	17.30 12.50			17.50 18.40	17.50 12.40		8.00 20.80	
Total		167.60	165.40	162.70			145.90	134.15		119.60	
Daily Consump.											
Drain T.											
Bilge	{ Chain L No. 1 H { P. S. No. 2 H { P. S. E. R. { P. S. T. R. { P. S.										
Heel											
Remarks		Osaka Clearance (09.00) Kusakabe Entrance (16.00)		Kusakabe Clearance (06.00)		Nagasaki Entrance (14.00)		Nagasaki Clearance (09.00)		Kagoshima Entrance (10.00)	

## (Hokuto Maru)

Monday 25th Jan.		Thursday 26th Jan.		Wednesday 27th Jan.		Thursday 28th Jan.		Friday 29th Jan.		Saturday 30th Jan.	
A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.	A.M.	P.M.
29.00		29.00		29.00	29.00			29.00	29.00		
47.40		34.60		52.90	46.60			37.30	29.00		
23.10		22.00		22.00	21.10			21.10	20.20		
18.56		18.56		18.56	18.56			18.56	18.56		
13.70		12.30		14.09	14.09			13.10	12.30		
131.76		116.46		136.55	129.35			119.06	109.06		
11.80		11.80		10.30	7.30			10.20	8.80		
9.80		7.90		9.70	8.20			10.10	7.70		
56.00		52.80		59.71	57.00			52.80	49.60		
49.00		42.90		50.14	50.14			43.40	39.50		
126.60		115.40		129.85	122.64			116.50	105.60		
2.78		2.68		3.08	3.04			2.90	2.85		
4.52		4.48		4.50	4.48			4.40	4.39		
3.65		3.58		3.79	3.76			3.67	3.62		
1,666		1,624		1,750	1,732			1,678	1,648		
0.20		0.20		35.00	30.00			30.00	30.00		
0.00		0.00		35.00	30.00			30.00	30.00		
27.90		25.00		25.00	25.50			22.20	11.80		
33.20		31.00		31.00	29.00			19.00	20.00		
13.50		12.50		12.50	12.30			12.30	12.30		
8.00		7.70		7.70	7.90			7.90	7.90		
10.25		6.00		15.00	14.40			14.40	2.50		
11.50		4.90		15.00	25.00			2.50	14.50		
104.55		87.30		176.20	174.10			138.30	129.00		
Kagoshima Clearance (08.50)	Hiroshima Entrance (15.00)	Hiroshima Clearance (15.50)		Beppu (Roadstead) Start (0.600)	Gokasho (Roadstead) Start (16.00)	Tokyo Entrance (09.30)					

Table 5-3 Sounding Table

Items	Date	Monday 16th Jan.			Tuesday 17th Jan.			Friday 20th Jan.		
		Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark
Tanks										
Fresh Water	F. P. T.	full	36.4	—	full	36.4	—	full	36.4	—
	No. 1 D. B. T.	full	79.4	—	full	79.4	—	full	79.4	—
	No. 6 D. B. T. { P. S.	full full	50.7 50.7	—	full full	50.7 50.7	—	full full	50.7 50.7	—
	No. 7 D. B. T.	1.05	27.3	—	1.05	27.2	—	1.05	27.4	—
	No. 1 W. T. { P. S.	3.25 1.25	35.0 13.8	-2.3 +2.5	full 1.87	43.8 20.0	+8.8 +6.2	3.70 full	40.0 43.8	+2.3 +13.4
	No. 2 W. T. { P. S.	full full	127.0 112.1	—	full full	127.0 112.1	—	full full	127.0 112.1	—
	No. 3 W. T. { P. S.	1.70 4.15	30.1 95.6	-4.9 -3.4	1.35 3.15	23.0 58.0	-7.1 -37.6	full full	122.5 103.0	+93.8 +65.0
	A. P. T.	full	57.9	—	full	57.9	—	full	57.9	—
	Total		716.0	-8.1		686.2	-29.7		850.9	+175.0
F. W.	No. 4 D. B. T. { P. S.	0 0.50	10.6	—	0 0.50	10.6	—	0 0.10	1.8	-5.8
	No. 5 D. B. T. { P. S.	0.35 0.78	17.1 41.8	-8.3 -0.8	0.30 0.78	14.0 41.8	-3.1	0.15 0.80	6.2 42.6	+2.6 +2.4
	Total		69.5	-9.1		66.4	-3.1		50.6	-0.8
	No. 2 D. B. T. { P. S.	full full	45.1 45.1	—	full full	45.1 45.1	—	full full	45.1 45.1	—
F. D. T. or Ballast T.	No. 3 D. B. T. { P. S.									
	No. 1 D. T. { P. S.									
	No. 2 B. T. { P. C. S.									
	Total		90.2			90.2			90.2	
Bilge	No. 1 H. { P. S.	0.05 0.08			0.05 0.05			0.05 0.08		
	No. 2 H. { P. S.	0.20 0.20			0.20 0.20			0.20 0.20		
	Coff. { P. S.	0 0						0 0		
Draught	Fore								3.90 m	
	Aft.								5.50 m	
	Mean								4.70 m	
	Heel								Nil	
Daily Consumption	Fresh W.		8.1			29.7			(-175.0)	
	Feed W.		9.1			3.1			0.8	
	Fuel (l)								M. E. 50, M. G. 20, B. 90 l	
Took in Water									197	
Shifted Water										
Remarks		15th Jan. Draught Fore: 4.05 m Aft.: 5.10 m Mean: 4.57 m Heel: Nil							At Yokohama	

(Ginga Maru)

Table 5·3 Sounding Table

Items	Date	Thursday 26th Jan.			Friday 27th Jan.			Saturday 28th Jan.		
		Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark
Tanks										
Fresh Water	F. P. T.	0	0	—	0	0	—	0	0	—
	No. 1 D. B. T.	1.67	59.8	-19.6	1.60	56.9	-2.9	1.36	45.7	-11.2
	No. 6 D. B. T. { P. S.	full full	50.7 50.7	— —	full full	50.7 50.7	— —	full full	50.7 50.7	— —
	No. 7 D. B. T.	1.00	26.3	-1.1	1.00	26.3	—	1.00	26.3	—
	No. 1 W. T. { P. S.	1.20 2.25	13.2 24.2	+7.7 +1.7	1.73 2.55	18.9 27.3	+5.7 +3.1	2.45 2.40	26.3 25.8	+7.4 -1.5
	No. 2 W. T. { P. S.	full full	127.0 112.1	— —	full full	127.0 112.1	— —	full full	127.0 112.1	— —
	No. 3 W. T. { P. S.	4.15 4.25	117.0 100.8	-2.3 -2.2	3.47 4.23	88.0 100.1	-29.0 -0.7	4.30 3.65	111.0 97.0	+23.0 -3.1
	A. P. T.	full	57.9	—	full	57.9	—	full	57.9	—
	Total		739.7	-15.8		715.9	-23.8		730.5	+14.6
	No. 4 D. B. T. { P. S.	0.05 0	1.0 0	-0.3 —	0.05 0	1.0 0	— —	0.05 0	1.0 0	— —
F. W.	No. 5 D. B. T. { P. S.	0.38 0.50	19.0 26.3	-7.3 —	0.45 0.78	23.6 41.8	+4.6 +15.5	0.43 0.73	22.2 39.1	-1.4 -2.7
	Total		46.3	-7.6		66.4	+20.1		62.3	-4.1
Ballast T.	No. 2 D. B. T. { P. S.	full full	45.1 45.1	— —	0.50 full	11.3 45.1	-33.8 —	0.50 full	11.3 45.1	— —
	No. 3 D. B. T. { P. S.									
	F. D. T. or No. 1 D. T. { P. S.									
	No. 2 B. T. { P. C. S.									
	Total		90.2			56.4	-33.8		56.4	
Bilge	No. 1 H. { P. S.	0.06 0.08						0.07 0.08		
	No. 2 H. { P. S.	0.20 0.20						0.20 0.20		
	Coff. { P. S.	0 0						0 0		
Draught	Fore		3.48 m					3.25 m		
	Aft.		5.50 m					5.65 m		
	Mean		4.49 m					4.45 m		
	Hell		P. 2°					Nil		
Daily Consumption	Fresh W.		15.8			23.8		(-14.6)		
	Feed W.		7.6		(-20.1)			4.1		
	Fuel (l)							M. E. 170, M. G. 10, B. 170		
Took in Water										
Shifted Water										
Remarks								At Hakodate		

## (Ginga Maru) (Continued)

Sunday 29th Jan.			Monday 30th Jan.			Tuesday 31st Jan.			Wednesday 1st Feb.			Thursday 2nd Feb.		
Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark	Meters	Tons	Remark
0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
1.10	33.5	-12.2	0.90	25.1	-8.4	0.55	12.8	-12.3	0.40	8.6	-4.2	0.33	6.5	-2.1
full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—
full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—	full	50.7	—
1.00	26.3	—	1.00	26.3	—	1.00	26.3	—	1.00	26.3	—	1.00	26.3	—
3.00	32.2	+5.9	?	?		3.70	40.0		2.80	30.0	-10.0	0.73	8.3	-21.7
2.40	25.8		?	?		2.50	26.8		2.00	21.6	-5.2	2.00	21.6	—
full	127.0		full	127.0	—	full	127.0	—	full	127.0	—	full	127.0	—
full	112.1		full	112.1	—	full	112.1	—	full	112.1	—	full	112.1	—
3.65	97.0	-14.0	3.40	86.9	-10.1	3.40	86.9	—	3.70	103.0	+16.1	3.60	95.0	-8.0
4.30	101.9	+4.9	4.30	101.9	—	4.30	101.9	—	4.30	101.9	—	4.30	101.9	—
full	57.9		full	57.9	—	full	57.9	—	full	57.9	—	full	57.9	—
	715.1	-15.4					693.1			689.8	-3.3		657.9	-31.9
0.05	1.0		0.05	1.0	—	0.05	1.0	—	0.05	1.0	—	0.05	1.0	—
0	0		0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
0.41	20.9	-1.3	0.40	20.3	-0.6	0.30	14.0	-6.3	0.20	8.5	-5.5	0.20	8.5	—
0.62	33.0	-6.1	0.52	27.5	-5.5	0.45	23.6	-3.9	0.45	23.6	—	0.25	11.2	-12.4
	54.9	-7.4		48.8	-6.1		38.6	-10.2		33.1	-5.5		20.7	-12.4
0.50	11.3	—	0.50	26.8	+15.5	0.50	26.8	—	0.50	26.8	—	0.50	26.8	—
full	45.1	—	full	45.1	—	full	45.1	—	full	45.1	—	full	45.1	—
	56.4			71.9	+15.5		71.9			71.9			71.9	
0.07			0.07			0.10			0.10			0.10		
0.08			0.09			0.10			0.10			0.10		
0.20			0.20			0.20			0.20			0.20		
0.20			0.20			0.20			0.20			0.20		
0			0			0			0			0		
0			0			0			0			0		
												3.10 m		
												5.64 m		
												4.37 m		
												Nil		
15.4			?			?			3.3			31.9		
7.4			6.1			10.2			5.5			12.4		
M. E. 5190, M. G. 505, B. 3460			M. E. 4960, M. G. 590, B. 3330			M. E. 5090, M. G. 550, B. 3240						At Tokyo		

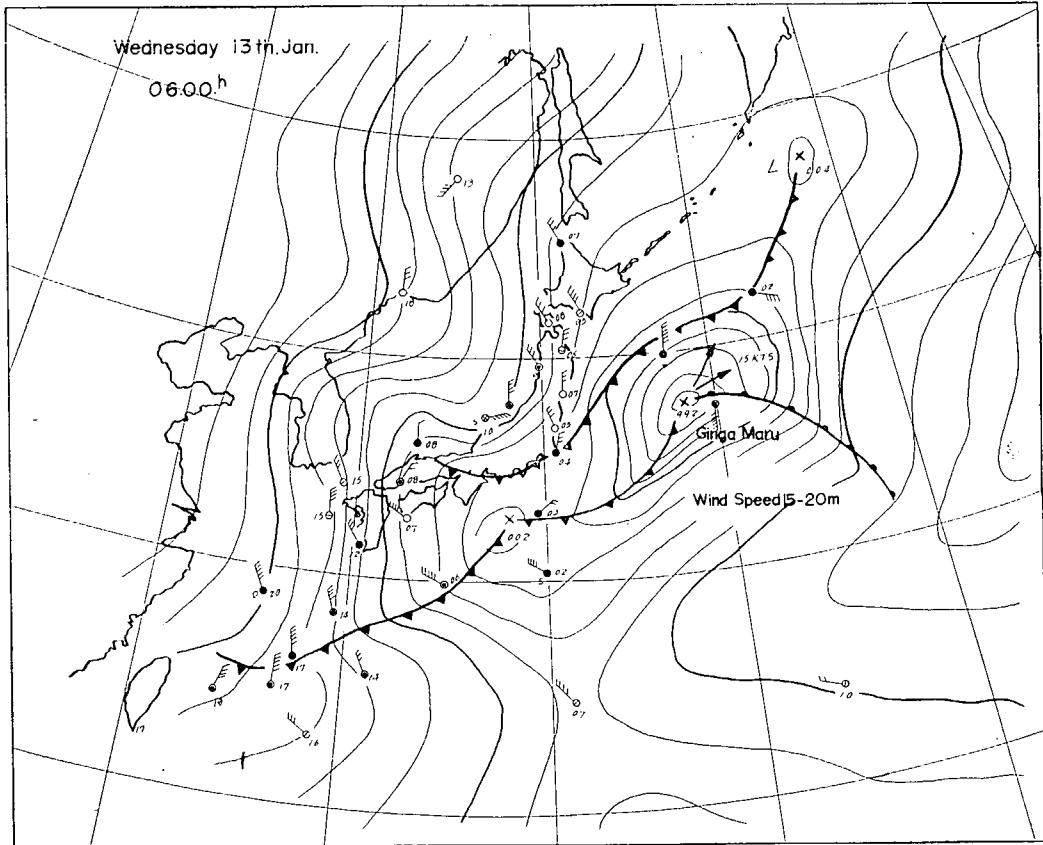


Fig. 5.1 (b) Weather Chart at 06:00 on 13th Jan. 1956

## 5.2 計測結果例

先にも述べた如く北斗丸の実験では延 53 回、銀河丸実験では延 132 回の資料が得られたのであるが、これらの中にはスラミングによる船体の振動応力、船底水圧の変化、船体加速度の変化を記録し得たものが少なくなかった。これらのすべての資料を解析するには更に多大の労力と日数、費用を必要とするので、取敢ず銀河丸実験の実験番号 No. 70, 71 および 81 を選び、これについて主として解析を進めることにした。

Fig. 5.2~5.3 に北斗丸による計測例を、Fig. 5.4~5.10 に銀河丸による計測結果例を示す。

銀河丸実験の No. 70, 71 および 81 の計測結果によるとそれぞれ計測開始後 Table 5.4 に示す如き時刻に甲板応力、船体加速度、水圧変化にスラミングによる変化が見られ、特に甲板応力および船体加速度には船体振動が測定されている。なお表中の時刻はそれぞれ計測開始時よりの時刻を示す。

これらについての解析は第 6 章以下で述べることにする。

Table 5·4 Observation of Time when Slamming occurred

Exp. No.	Pressure Gage	Accelerograph	Deck Stress	Remarks
70	55"	56.2" 2'28.4"	55"	Angle of Encoun- ter, Port. 45°
71	84" 2'43"	2'38.3"	71" 2'39"	Head Wave
81	5'23"	2'13"	28" 5'23"    2'18" 6'10"	Head Wave

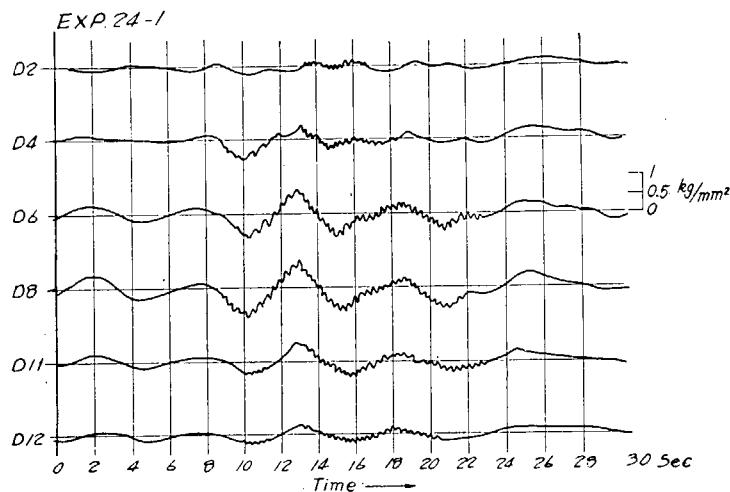


Fig. 5·2 Stresses on Deck

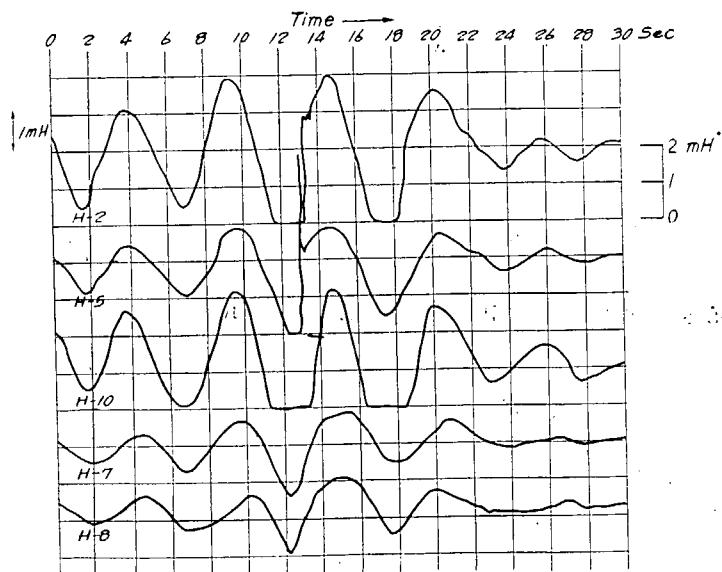


Fig. 5·3 Water Pressure

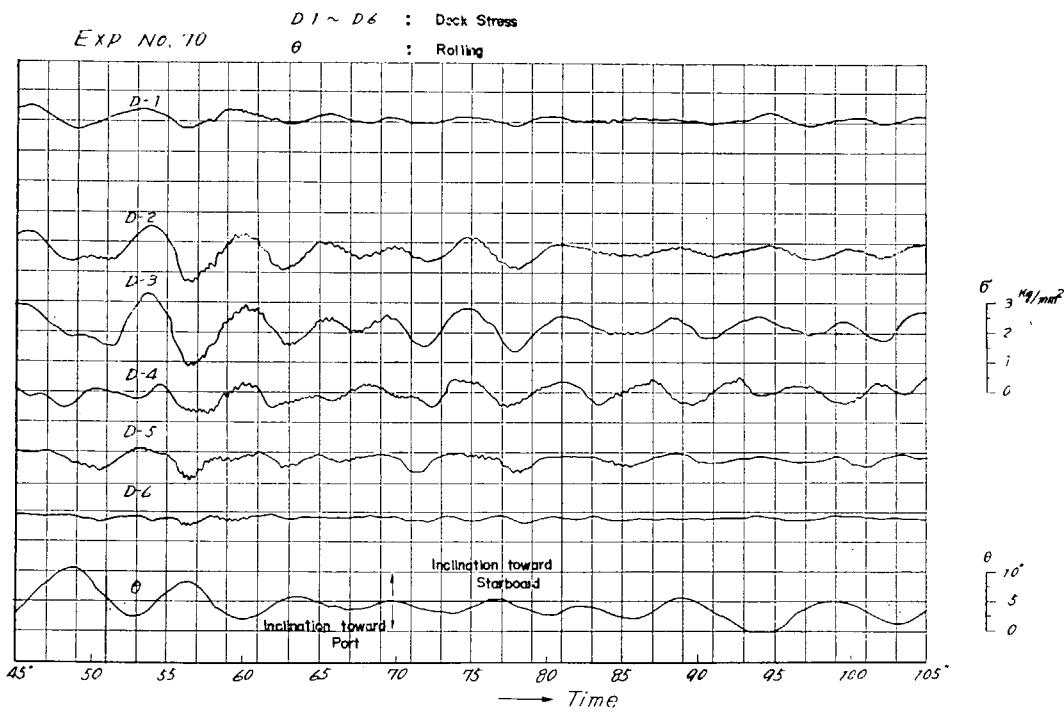


Fig. 5·4 Deck Stresses and Rolling Angle



Fig. 5·5 Stresses in Midship Section

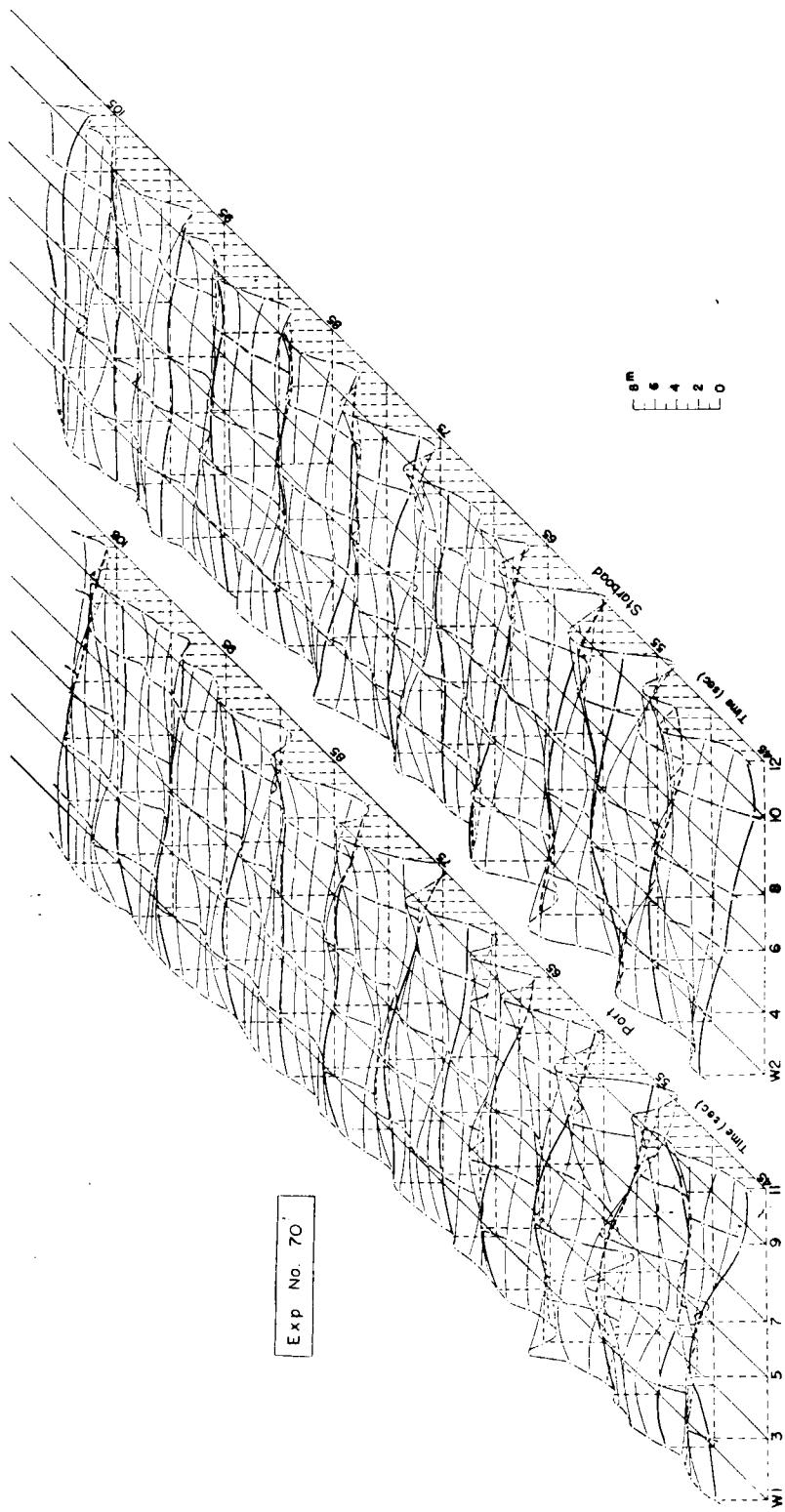


Fig. 5-6 Panoramic View of Water-Level

Exp. No. 70

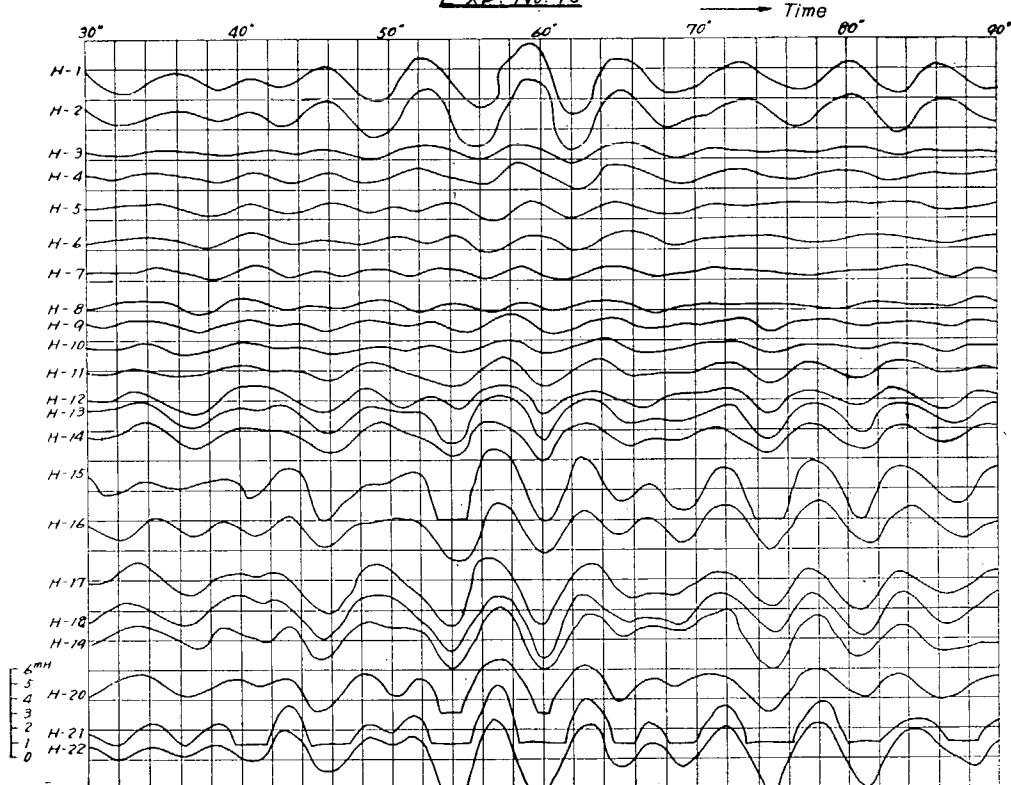


Fig. 5.7 (a) Water Pressure

Exp. No. 70

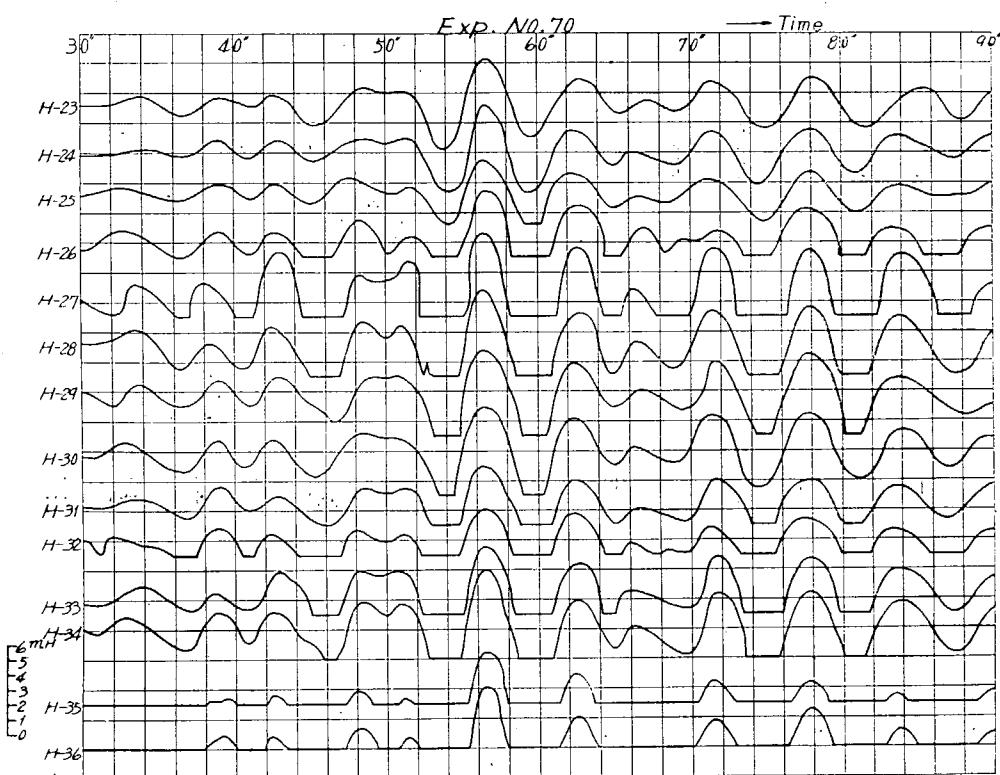
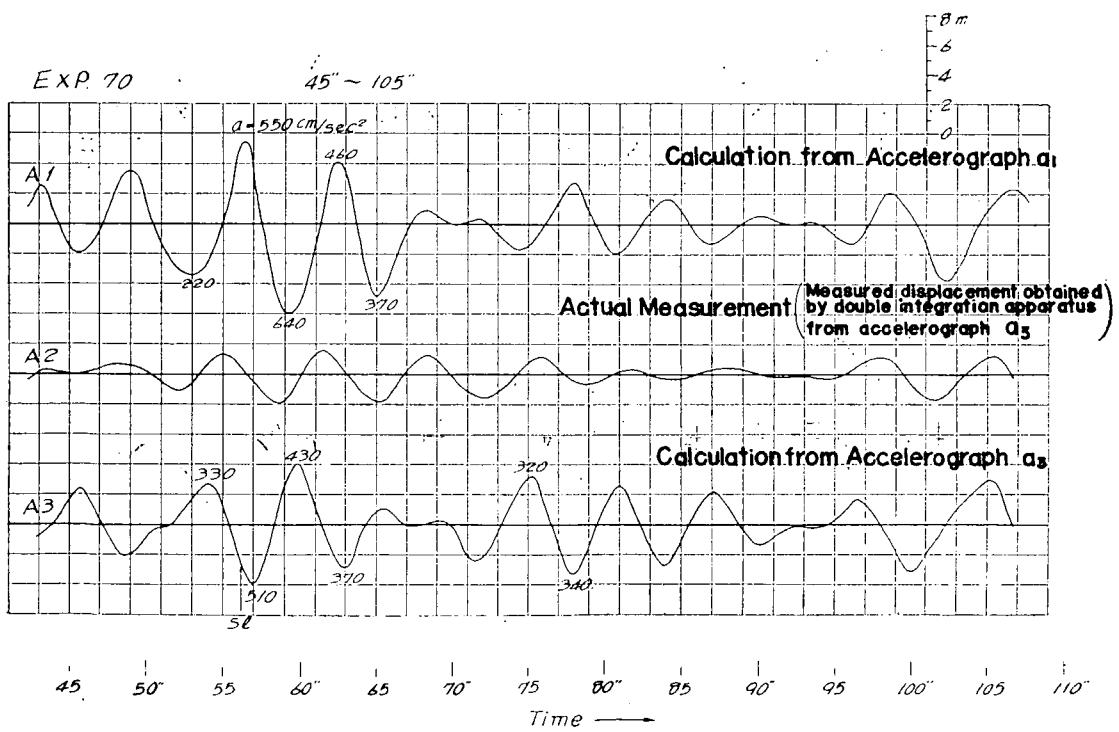
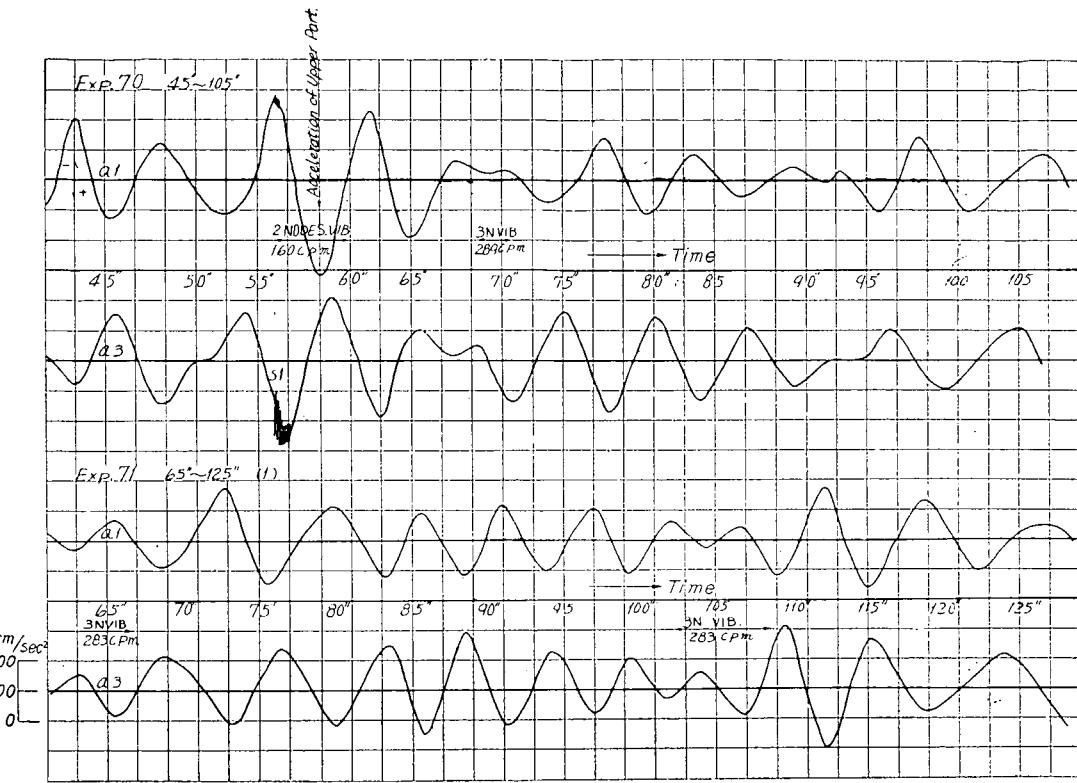


Fig. 5.7 (b) Water Pressure



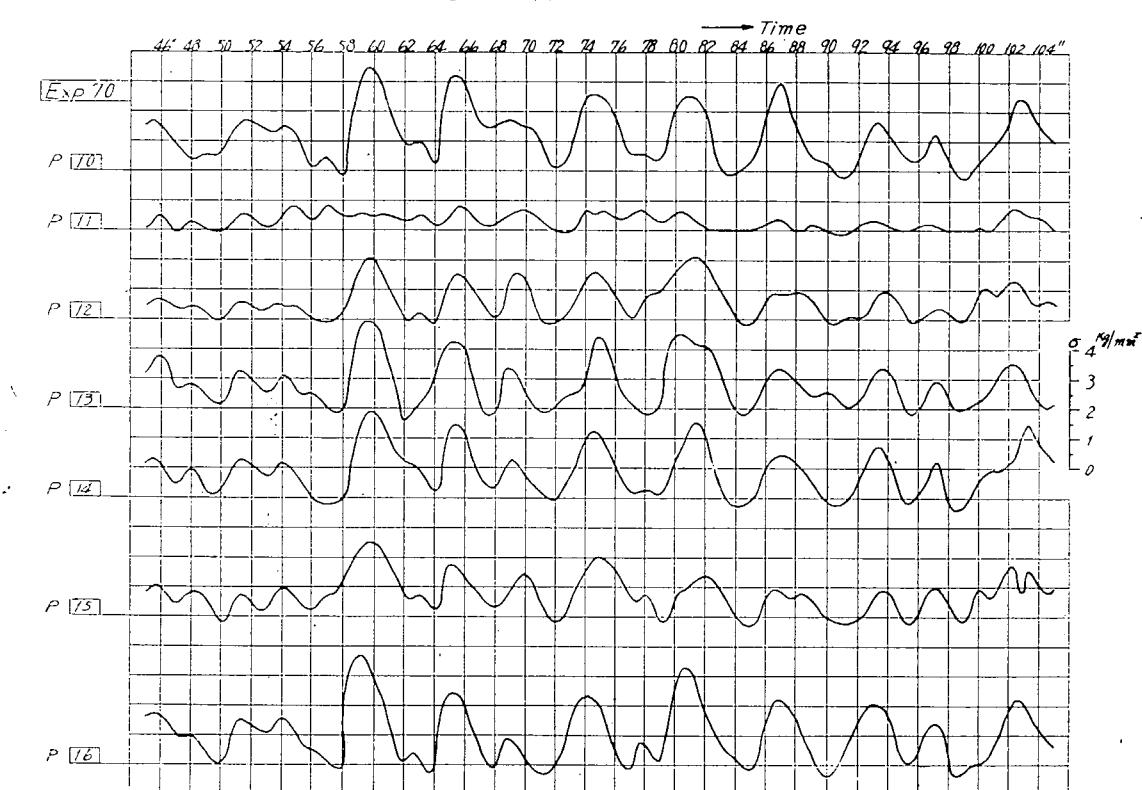
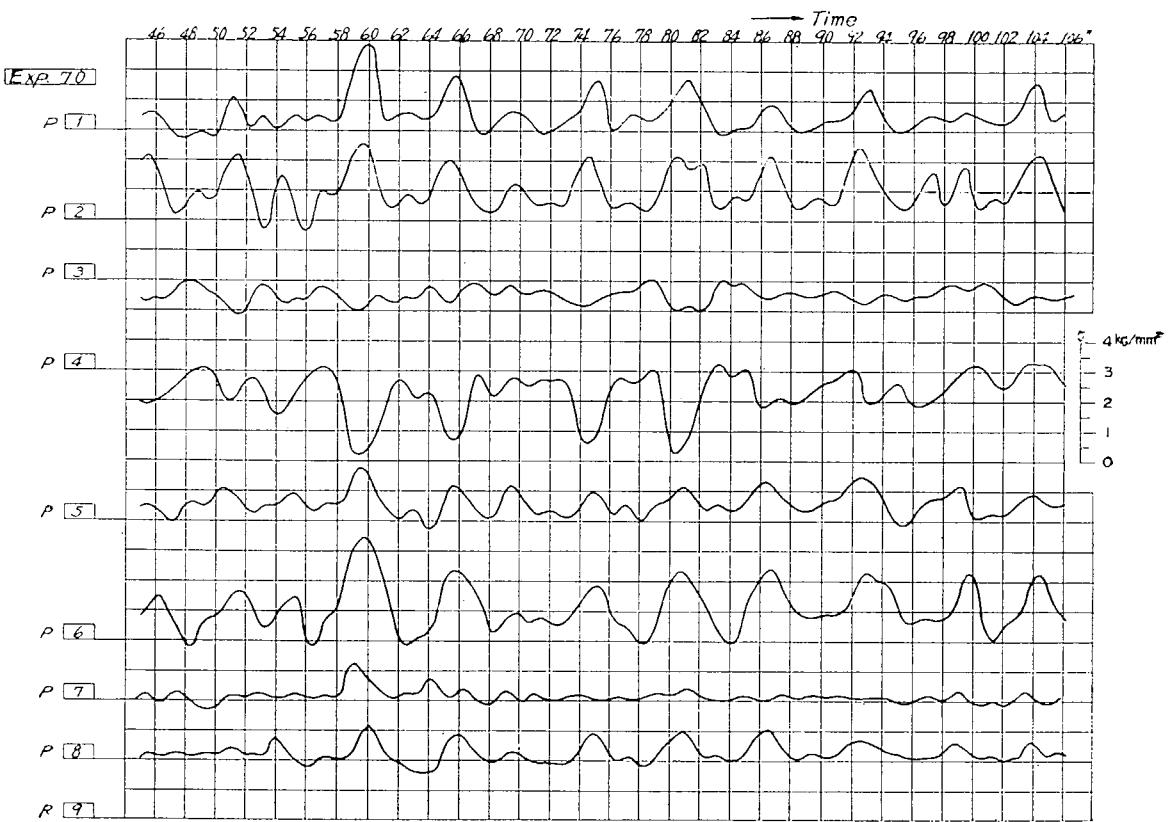


Fig. 5.10 (b) Panel Stresses

## 第6章 解析

以下銀河丸の実験結果について行つた解析について述べることにする。

### 6・1 海象および本船状態とスラミング発生状況

銀河丸による荒天時の実船実験全般における海象状態、本船の状態とスラミング発生状況の関係を求め、その結果本船実験によるスラミング領域を速度と波長の関係によつて検討し、また応力の頻度分布を数例について求めた。

本船による実験全般にわたる海象および本船の状態とスラミング発生状況の一覧表を Fig. 6・1 に示す。

本図には、海象および本船の状態を示すものとして、風速、本船に対する風の方向、外界の波長、波高の大きさ、(S-7) (D-4) 点における波浪による船体応力複振巾の最大・最小値、(A-3) 点における加速度全振巾の最大値、(H-7) (H-21 左舷) (H-23 左舷) (H-26 右舷) (H-24 右舷) 各点における水圧平均値を全実験にわたり記載してある。図に斜線をほどこしてあるところは、その実験番号の計測中においてスラミングが発生したと考えられるものである。

スラミング発生と風力の関係を求めると、全般を通じて 12 m/sec 以上の風速においてスラミングが起きていることが明かであり、また風力の増大に伴つて波長、波高も一般に大きくなる傾向がある。

船体応力  $\sigma(S-7)$ ,  $\sigma(D-4)$  は実験計測期間中の波浪による応力複振巾の最大・最小および平均値を記入しているが、全般を通じて応力最大値の大きなときにスラミングが起る傾向が認められる。

加速度複振巾の最大値も同様に大きな値（およそ  $0.65 \times 10^3$  gal 以上）を示すときスラミングが起る可能性が推察される。また水圧についても当然のことながらスラミング発生のときに高い圧力が認められる。

しかし、実験全般を通じてみると船の長さに比して外界の波長が比較的短かく、その最も長いものでも  $L_w/L = 0.7$  程度であり、加えて船の速度が波浪中で高速を維持できなかつた点などから、スラミングの程度としても軽度のものであつたように考えられる。

一般に、波浪中を航走する船の喫水が一定である場合、スラミング領域は波長と船の速度によつて決まるものであるから、本船の速度と外界の波長との関係をスラミングの発生が比較的明瞭な実験番号について求めたものが Fig. 6・2 である。

図には規則波中における水槽実験結果から求めた一般商船のスラミング領域も記入してある。

一般商船が比較的軽い喫水状態で規則波中を航走するときに、スラミングの起る限界最小波長は  $L_w/L = 0.74$  であり、速度は  $V/\sqrt{L} = 0.70$  以上であるので<sup>1)</sup>、本船の遭遇した外界の波長はスラミングを起すには幾分過小であり、また船の速度も小さいようであるが、不規則波中のスラミング領域は図に示す領域よりも拡大されるから、本図に示す点の一部は不規則波中のスラミング領域に入ると

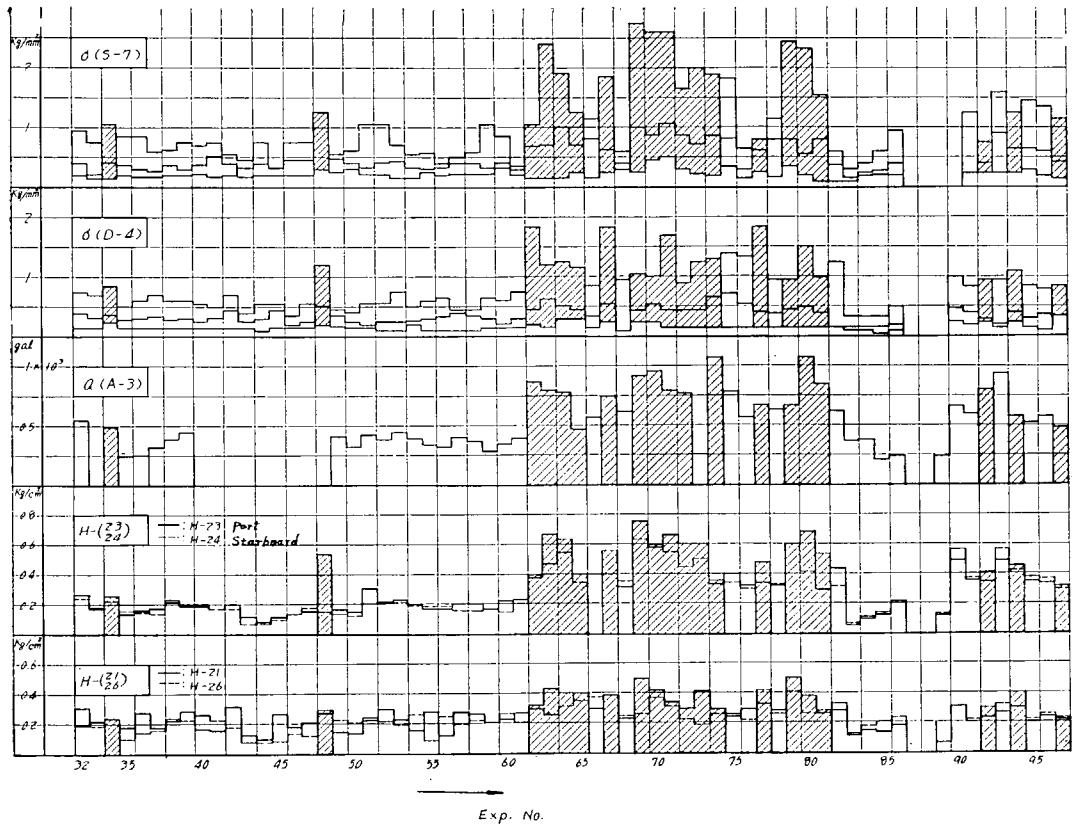


Fig. 6.1 (a) List of Sea and Ship Conditions

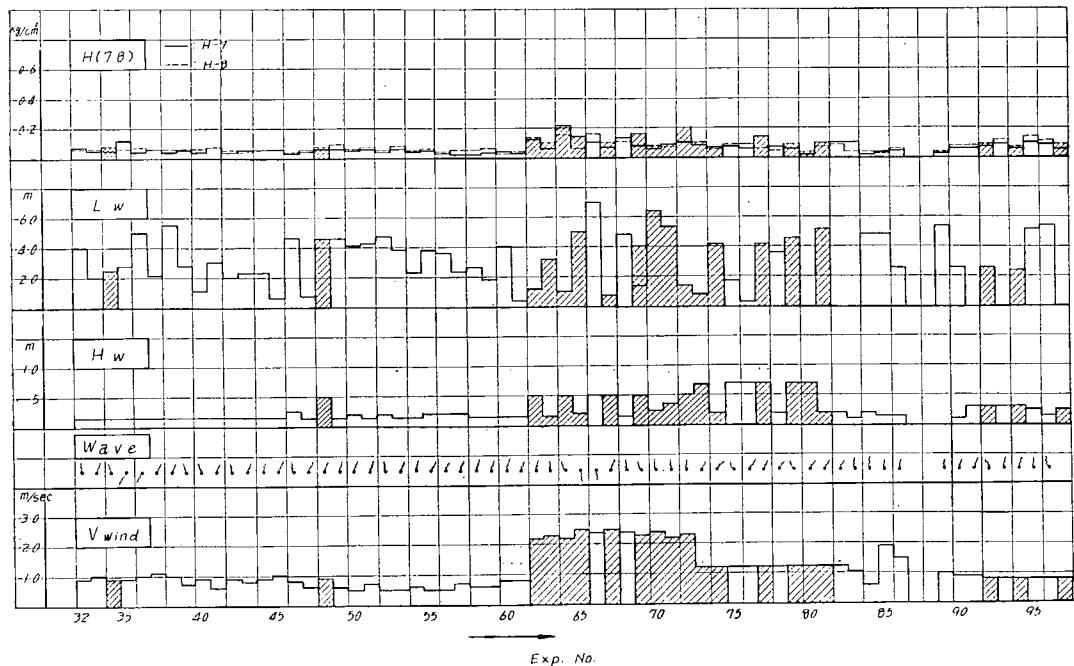
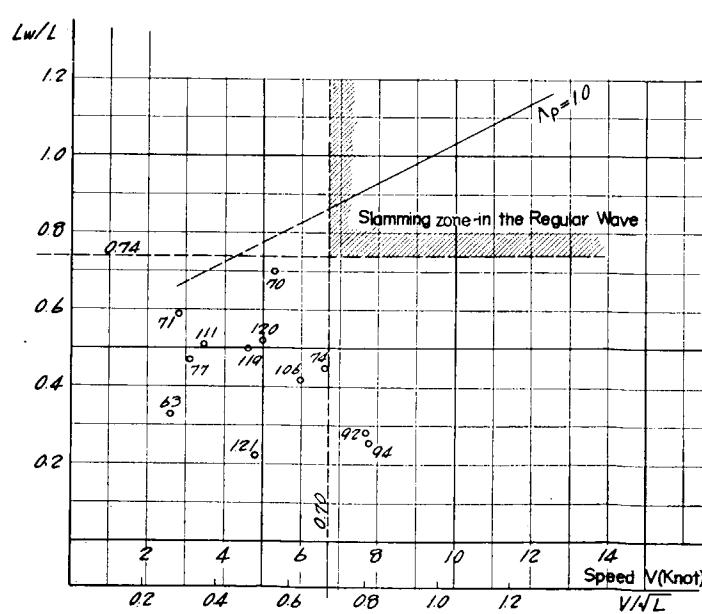
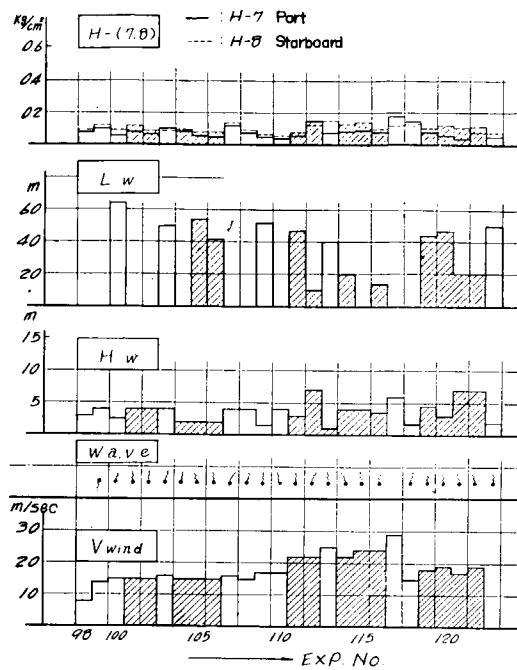
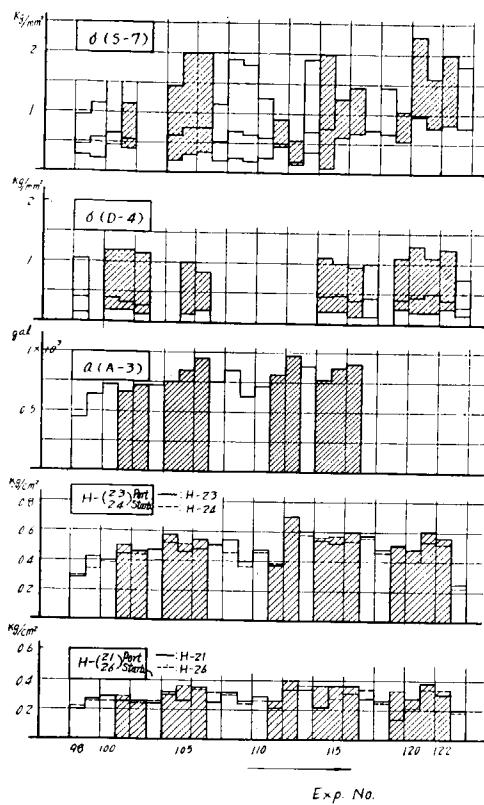


Fig. 6.1 (b) List of Sea and Ship Conditions



考えてさしつかえない。Fig. 2・2 の  $A_p^* = 1.0$  の直線は、船の縦揺れと同調するときのもので、スラミングの特に烈しい波長と船の速度との関係を示すものである。

最近の研究によると、一般にある海面で比較的短期間計測した船体応力複振巾のヒストグラムは次式で表現できる Rayleigh 分布であるといわれている<sup>2)</sup>。

$$p(x) = \frac{2x}{E} e^{-x^2/E} \quad (x \geq 0)$$

ただし、 $p(x)$ : 応力頻度、 $x$ : 応力複振巾、 $E$ : 恒数

本船において計測された各回の実験では、応力変動回数が 35~87 回程度であるので、前記の短期分布の式によるものと考え、それぞれの実験回数について計測値を用いて Rayleigh 分布による頻度曲線を計算したものが Fig. 6・3 に示す曲線である。図に記入してある  $m$  は平均値であり、 $\sigma$  は標準偏差である。

図にみるとおり、各実験回数における応力頻度は、Rayleigh 分布による頻度曲線と大体似ていると考えてさしつかえないようである。6 実験状態、324 応力回数について求めた最も多く現われる応力全振巾の値は  $0.90 \text{ kg/mm}^2$  であった。

以上を要約すれば、本実験全般を通じて海象状況とスラミングの発生の関係をみるに、風速  $12 \text{ m/sec}$  以上の風力においてスラミングが起きていることが明らかであり、またこの際に波長、波高はいずれ

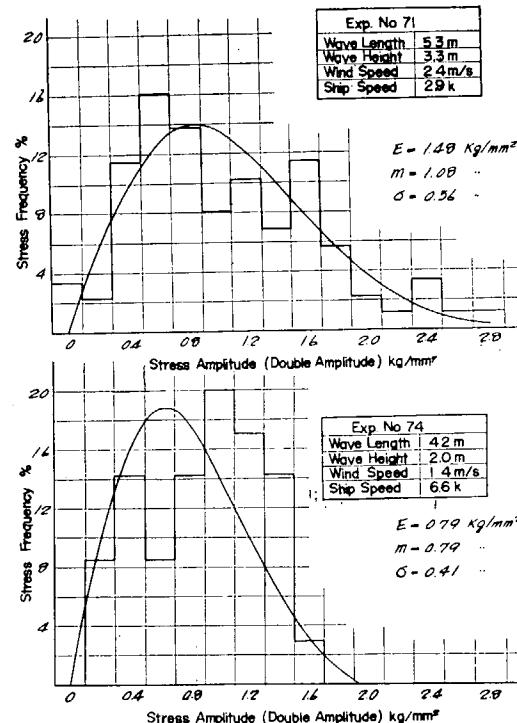
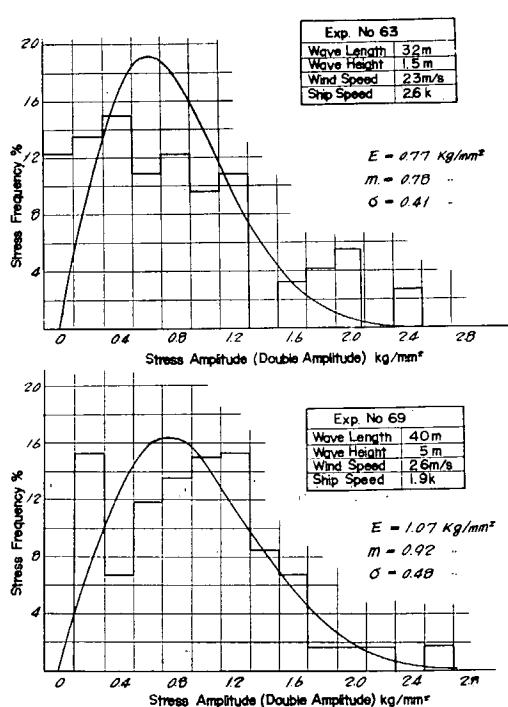


Fig. 6・3 (a) Distribution of Stress Frequency

Fig. 6・3 (b) Distribution of Stress Frequency

\*  $A_p$  は縦揺同調係数で  $T_p/T_e$  である。

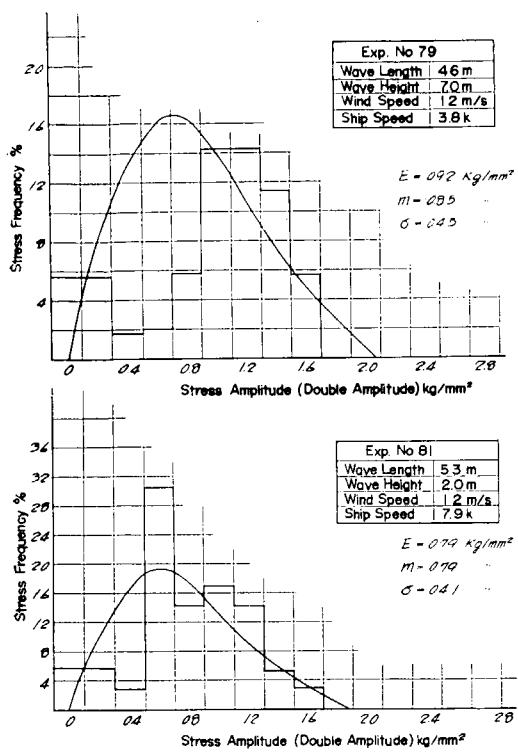


Fig. 6-3 (c) Distribution of Stress Frequency

## 6・2 船体運動

スラミングの有無と船体運動の関係を調べるために、船体運動として船首部加速度をとりスラミングとの関係を調べた。銀河丸実験においては船と波の出会い角および船速をそれぞれ数段階に変化させて実験を行つたので、それらについてスラミングの発生をしらべた。

船体の運動状態を記録するために加速度計および動揺計が用いられたが、動揺計の縦揺角計測記録が計器の不具合のために不完全になり、船体運動を縦揺角の点から解析するには不充分であるので、零ベースが明瞭であり、かつ、充分な記録が得られた上下方向の加速度計の記録をもとに解析することにした。

船首部、中央部および船尾部に各 1 箇ずつ設置した上下方向の加速度計により加速度を計測したが、特に船体中央部附近に設置した加速度計では加速度の計測以外に積分回路により加速度を 2 回積分して上下方向の変位をも記録した。

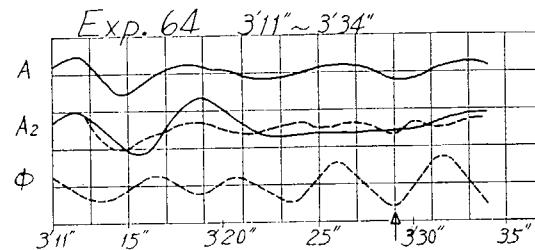
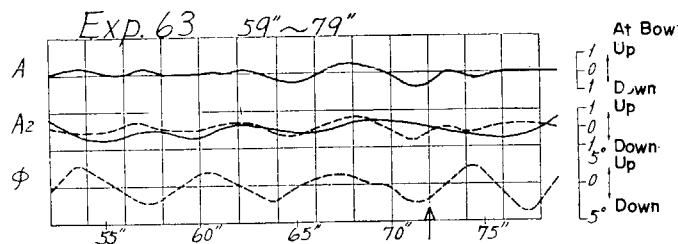
船体の上下揺は船首部および船尾部の上下方向の変位から縦揺の成分を除くことによつても求めることができるので、船首部および船尾部の加速度計 A-3 および A-1 の記録をそれぞれ 2 回積分してその変位を求めた。この方法により求めた船体の上下揺の数例を Fig. 6-4 に示す。図中、A はこのようにして求めた上下揺の計算値であり、A<sub>2</sub> の破線は同様にして求めた中央部の加速度計 A-2 の設置位置（重心位置から船尾へ 0.07 L）における上下方向の変位の計算値、実線は計測値であり、両者が比較的良く一致しているので A-2 の加速度計および積分回路の作動が良好であつたことがわかる。

も幾分増大していることが認められる。スラミングを起す場合には加速度復振巾の最大値も、およそ 650 gal 以上の値を示し、水圧力も高くなっている。しかし全般を通じて遭遇した波の長さは比較的短かく、また船の速度も高速を維持し得なかつた理由から、本船の遭遇したスラミングの程度としては軽い程度のものであつたようである。

また比較的、荒い海象状況の際に船体の応力頻度はほぼ Rayleigh 分布にしたがうことが認められた。

### 文 献

- Ochi, K.: Investigation on the Influence of Ship Forms upon the Strength of Ships going in Waves.  
S.N.A. Japan No.100
- Jasper, J. H.: S. N. A. M. E. (1956)



A Heaving  
 A<sub>2</sub> Vertical Displacement Obtained from Accelerograph A-2 (— Measuring  
 φ Pitching Angle (--- Calculation)  
 ← Start of Vibration in Deck Stress Curve (Slamming Start)  
 ← End of the Vibration

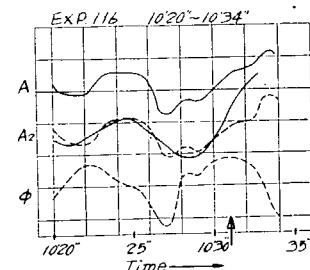
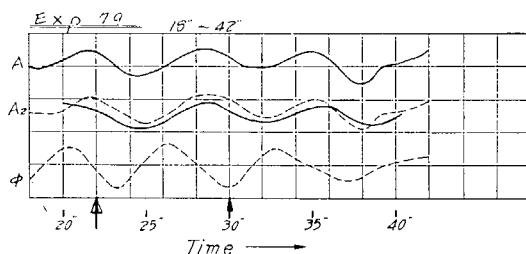
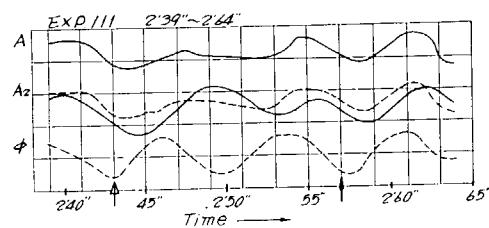
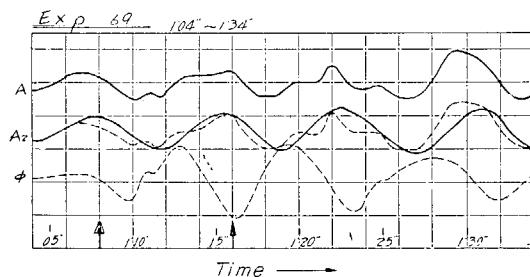
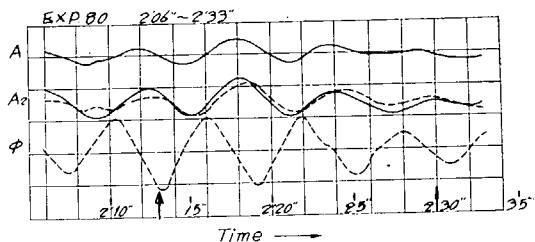
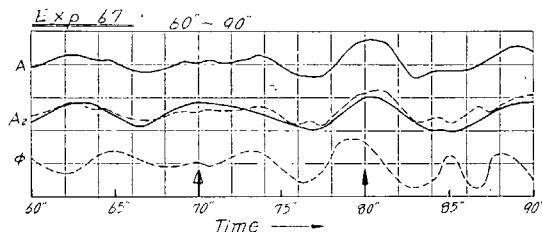


Fig. 6·4 Heaving Curve

る。図中、矢印はスラミングにより甲板応力に振動波形のみられる時間を示す。なお、 $\phi$  は縦横角の計算値を示している。

つぎにスラミングの発生と船首部加速度の関係について調べる。本実験においてはスラミング発生と船体運動の関係を求めるために各海域において船と波の出会い角および船速を変化させたが、スラミングはおむね海象状況が悪化した場合においてのみ発生したので、主としてこれらの場合について調べた。

実験番号がそれぞれ、62～72, 73～82, 90～96, 100～110 および 111～116 の各グループについてスラミング発生の有無と船首部加速度および船と波の出会い周期の関係を、船と波の出会い角が  $0^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $45^\circ$  および  $180^\circ$  に変化する場合について Fig. 6-5 に示す。各点に附してある数字は船速 (kt.) を示す。なお、船首部加速度計 A-3 の記録は各実験ごとに 2 分間以上の計測値を示すが、その加速

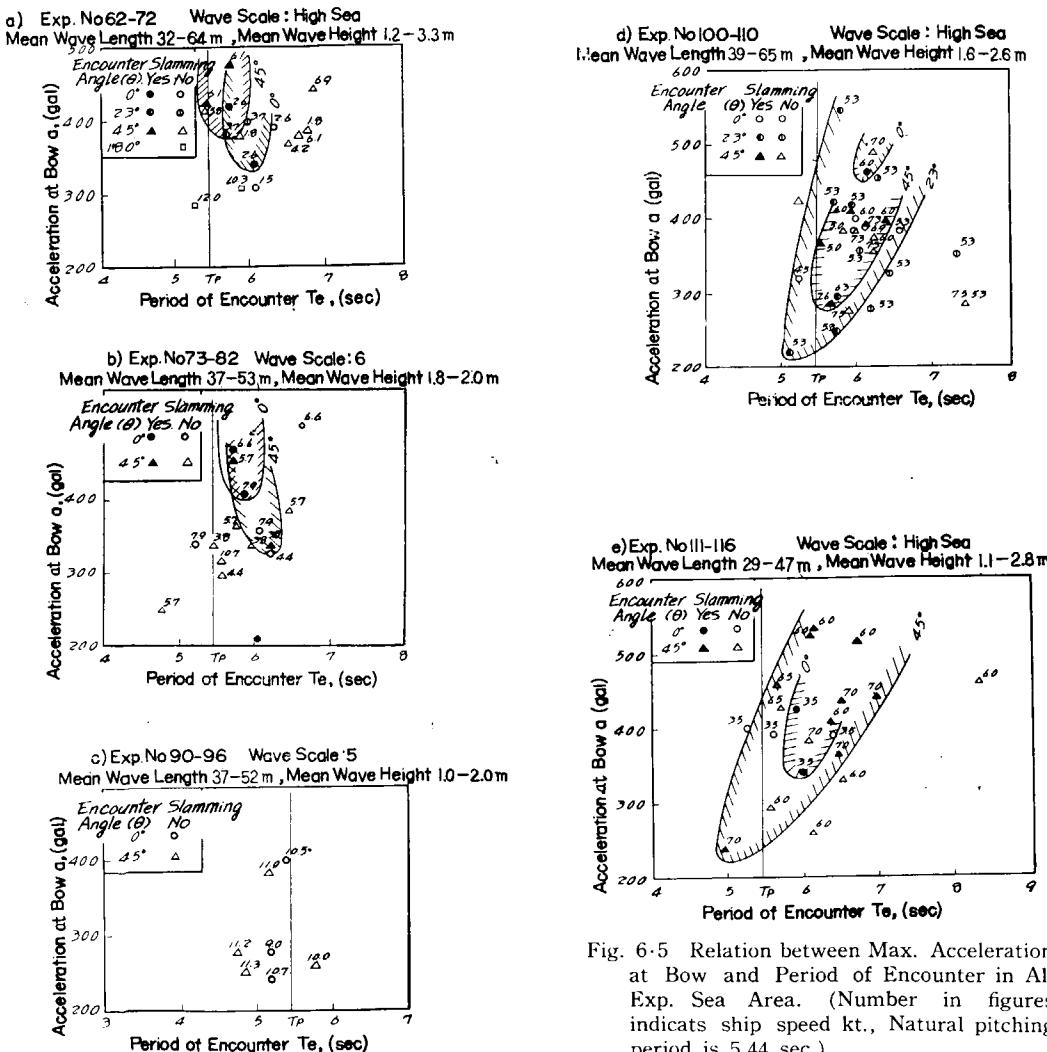


Fig. 6-5 Relation between Max. Acceleration at Bow and Period of Encounter in All Exp. Sea Area. (Number in figures indicates ship speed kt., Natural pitching period is 5.44 sec.)

度曲線においてスラミングが発生した場合および発生しないもののうちでの最大片振巾を求めてプロットしてある。片振巾としては船首が水平位置から海面にむかって船首をつつこみ最大の加速度に達するまでの値をとり、横軸の出会い周期は加速度曲線において問題になつてゐる谷をはさんだ山の周期をとる。

さらに各グループにおける波長、波高および波浪階級を示してあるが、波長および波高は Table 6・1

Table 6・1 Wave Length and Wave Height

Date	Exp. No.	Wave Length (m)			Wave Height (m)		
			Mean	Max.		Mean	Max.
21 Jan. P. M.	32~47	38*	45 45 60 70	55	70	1.8 1.4 0.8 0.8	1.2 1.8
		46*	45 35 55 60	45	60	3.7 1.8 1.7 2.2	2.3 3.7
22 Jan. P. M.	49~61	49	42 37 36 58 54 48	46	58	1.6 1.6 0.6 3.4 1.4 1.2	1.6 3.4
		60	62 33 32 46 29	40	62	1.8 1.7 2.6 1.9 0.8	1.8 2.6
23 Jan. A. M.	62~72	63	33 31 30 31 34	32	34	0.9 2.1 1.2 1.2 0.6	1.2 2.1
		65	52 45 50 49 45	49	52	0.5 2.4 1.6 2.4 3.2	2.0 3.2
		68	45 37 37 60 56	47	60	1.1 0.7 1.8 1.3 2.7	1.5 2.7
		°70	70 64 60 55 70	64(45)	70(50)	3.5 2.5 1.8 0.6 3.0	2.3 3.5
		71	40 70 42 43 65 60	53	70	2.0 5.5 1.5 2.5 4.5 3.5	3.3 5.5
		74	45 37 46 52 29	42	52	2.4 0.9 2.7 2.2 1.6	2.0 2.7
23 Jan. P. M.	73~82	78	40 43 35 37 29	37	43	1.2 2.4 1.7 1.3 2.3	1.8 2.4
		81	40 50 65 70 40	53	70	2.3 2.0 2.2 2.0 1.2	2.0 2.3
		84	84	45 35 40 90 40 50	50	90	1.5 2.5 2.0 2.5 2.0 1.8
25 Jan. A. M.	85~86	85	60 45 50 45 45	49	60	2.3 1.5 1.0 1.3 0.9	1.4 2.3
28 Jan. P. M.	90~98	90	43 32 37	37	43	0.9 1.2 1.0	1.0 1.2
		95	60 55 55 35 50 55	52	60	3.0 2.0 2.1 1.8 1.7 1.5	2.0 3.0
		°96	50 40 40 40 55 55 100	54(38)	100(71)	1.0 2.0 0.8 1.8 1.5 1.0 2.0	1.3 2.0
29 Jan. A. M.	99~110	100	72 58 63 66 64	65	72	3.5 2.7 2.0 3.1 1.9	2.6 3.5
		°105	50 40 60 50 55 50 80	55(39)	80(57)	1.5 2.6 4.0 2.0 1.5 1.8 1.7	2.1 4.0
		106	32 41 34 30 68	41	68	2.7 1.3 1.9 1.7 3.1	2.1 3.1
		109	60 30 40 80	53	80	2.4 0.5 1.0 2.5	1.6 2.5
29 Jan. P. M.	111~116	111*	70 30 30 60	47	70	3.0 4.3 2.0 2.0	2.8 4.3
		°113	30 35 35 45 65 35	41(28)	65(46)	1.0 1.5 1.0 1.0 1.8 0.5	1.1 1.8
30 Jan. A. M.	118	°118*	23 70 23 46	40(31)	70(54)	1.1 2.8 1.1 1.2	1.6 2.8
30 Jan. P. M.	119~122	119*	45 40 50 45	45	50	4.5 5.5 3.5 4.5	4.5 5.5
		120*	50 40 50 50	47	50	2.0 3.0 3.0 2.5	2.6 3.0
31 Jan. A. M.	123	123	30 70 60 40	50	70	2.3 2.7 2.0 1.7	2.2 2.7

Note \* : Without Correction of Pitching Angle

° : Virtual Wave Length of Head Wave other than 0°

( ) : Absolute Wave Length

に示すごとく、同一グループに属する海域においても実験番号ごとの平均波長および平均波高がそれぞれ同一値を示さないので平均値の範囲を記した。各グループにおける詳細な海象および気象状況は Table 5・1 (b) に示されている。Fig. 6・5 によればスラミングが発生する範囲、すなわちスラミング領域は船と波の出会い角によりことなり、追波の場合には一回もスラミングが発生しないことがわかる。

以上を総合して Fig. 6・6 に示す。

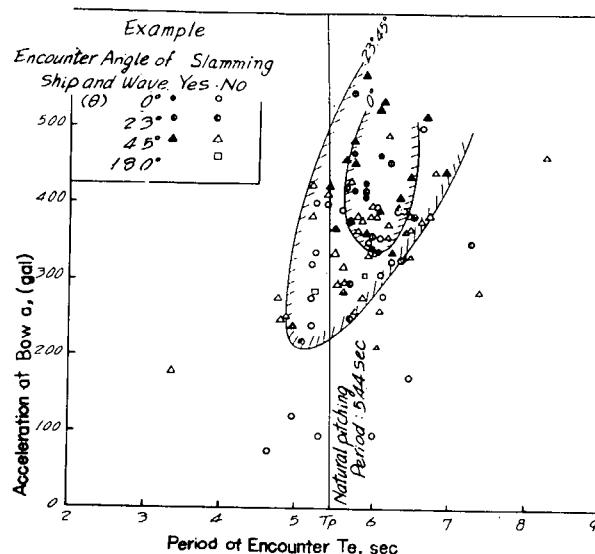


Fig. 6-6 Slamming Zone obtained from the Result of Acceleration on Measurement at-Bow

船と波の出会い角が  $23^\circ$  のものは、 $45^\circ$  の場合とほぼ同じスラミング領域を構成しているのでこれと  $0^\circ$  の場合の 2 個のスラミング圏が得られる。出会い角  $23^\circ$  および  $45^\circ$  の場合は  $0^\circ$  の場合に比較してスラミング領域の範囲が大きく、スラミングが発生するときの船首部加速度の最低値は  $200 \text{ gal}$  ( $\text{cm/sec}^2$ ) であるが、 $0^\circ$  の場合には  $320 \text{ gal}$  である。

本船の縦揺周期  $T_p$  を Lewis の式<sup>1)</sup> により求めると 5.44 秒になるので、この値を Fig. 6・5 および Fig. 6・6 に記入したが、これらから出会い周期が固有縦揺周期に近くなるとスラミングが発生することがわかる。なお、船と波の出会い角が  $45^\circ$  の場合の方が  $0^\circ$  の場合よりスラミングが発生しやすい理由としては、本船が遭遇した海洋波の平均波長が  $30\sim65 \text{ m}$  程度であるので、出会い角  $45^\circ$  の場合の方が  $0^\circ$  に比較して見掛けの波長が増加して船の長さに近くなるためであろうと思われる。

以上を要約すれば海象が High Sea で平均波長  $30\sim65 \text{ m}$  のとき船首部加速度周期が船体固有縦揺周期附近になるとスラミングが発生しやすく、船首部加速度（片振巾）が船と波の出会い角が  $0^\circ$  および  $23^\circ$  の場合に  $320 \text{ gal}$ 、 $45^\circ$  の場合に  $200 \text{ gal}$  以上になるとスラミングを生ずるようになる。ただし、出会い角  $45^\circ$  の場合の方が  $0^\circ$  および  $23^\circ$  の場合に比較してスラミング範囲が大きくなつてるのは、前者の方が見掛けの波長が船の長さに近くなるためと思われる。なお、船体中央部加速度 A-2 およびその積分回路の作動は良好で上下揺を、ほぼ、正しく示していることがわかつた。

## 文 献

- 1) E. V. Lewis: Ship Speeds in Irregular Seas, S. N. A. M. E. Vol. 63, 1955.

## 6・3 水圧と水位

### 6・3・1 まえがき

北斗丸における測定結果は、水圧計も水位計とともに銀河丸における本試験に対する準備段階で不満足な点が多いので、ここでは銀河丸における測定結果についてだけ検討することにする。

以下にウェーブ・プロファイルから推定した船体動揺と動揺計の記録との比較、船首船底における衝撃的水圧、水圧計と水位計の記録の関連などについて若干の解析を試みることにする。また応力解析に必要な水圧の絶対値が直接記録されていないものが多いので、水位計記録からこれを推定するために、水圧と水位の変化量の比較および絶対値の比較も試みた。

### 6・3・2 水位計記録から求めた船の運動状態

水位計記録から求めた船側のウェーブ・プロファイルの時間的変化は Fig. 5・6 に例示した通りであ

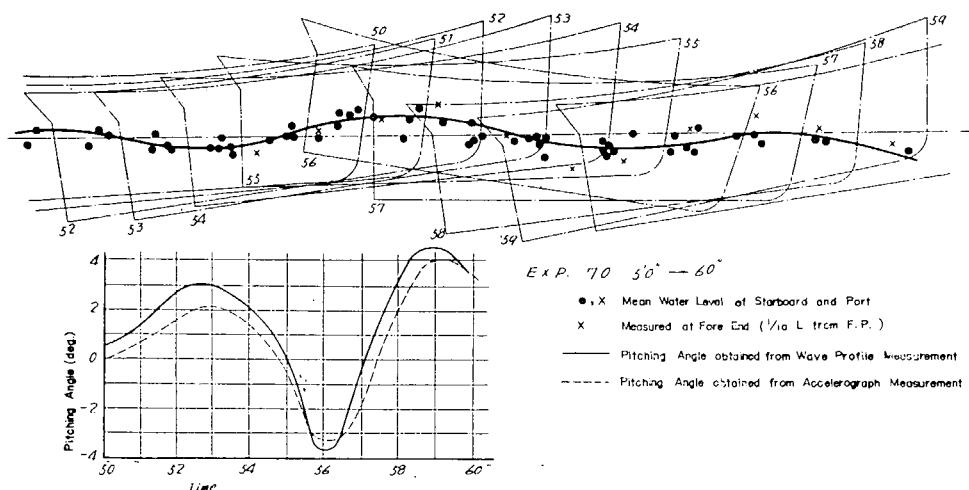


Fig. 6-7 Motion of Ship in Sea Waves

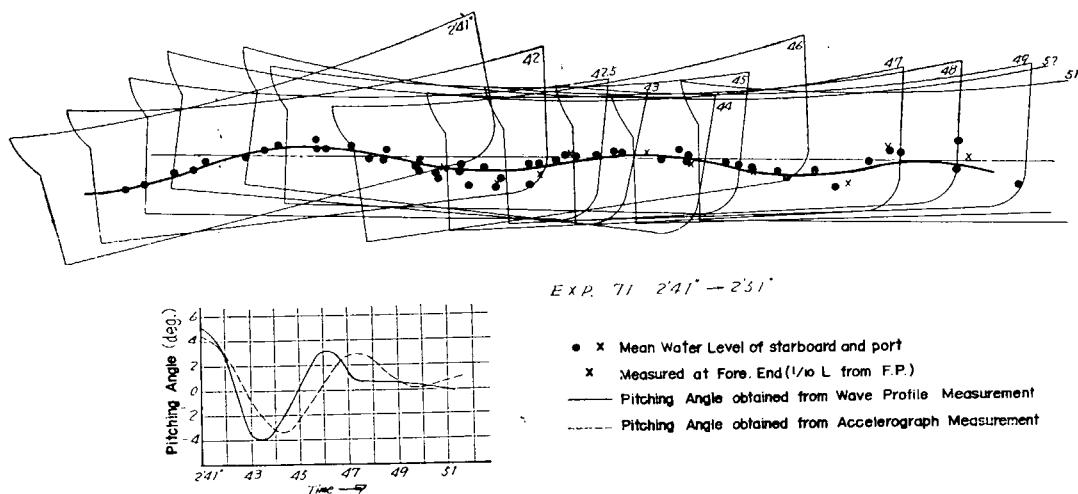


Fig. 6-8 Motion of Ship in Waves

るが、これを連ねて波浪中の船の運動状況を示したものが Fig. 6・7 および Fig. 6・8 である。各断面の左右舷の平均水位をプロットして波形が連続するようにつないだものであるが、最も船首寄りの断面 (W 11, W 12) では船のため波が壊れるため曲線から外れることが多い（図中 × 印）。

本図から各時刻における縦搖角を求めて、同時刻の縦搖曲線（動搖計故障のため加速度計記録から換算したもの）と比較したものをそれぞれ Fig. 6・7, 6・8 の下方に図示した。

### 6・3・3 断面の水圧分布

片舷に 3~4 個の水圧計を配置した船首部断面で水圧の絶対値が求められている場合には、断面の水圧分布曲線を描くことができる。実験番号 74 の 30~60 秒の間にについてその例を示したもののが Fig. 6・9 である。

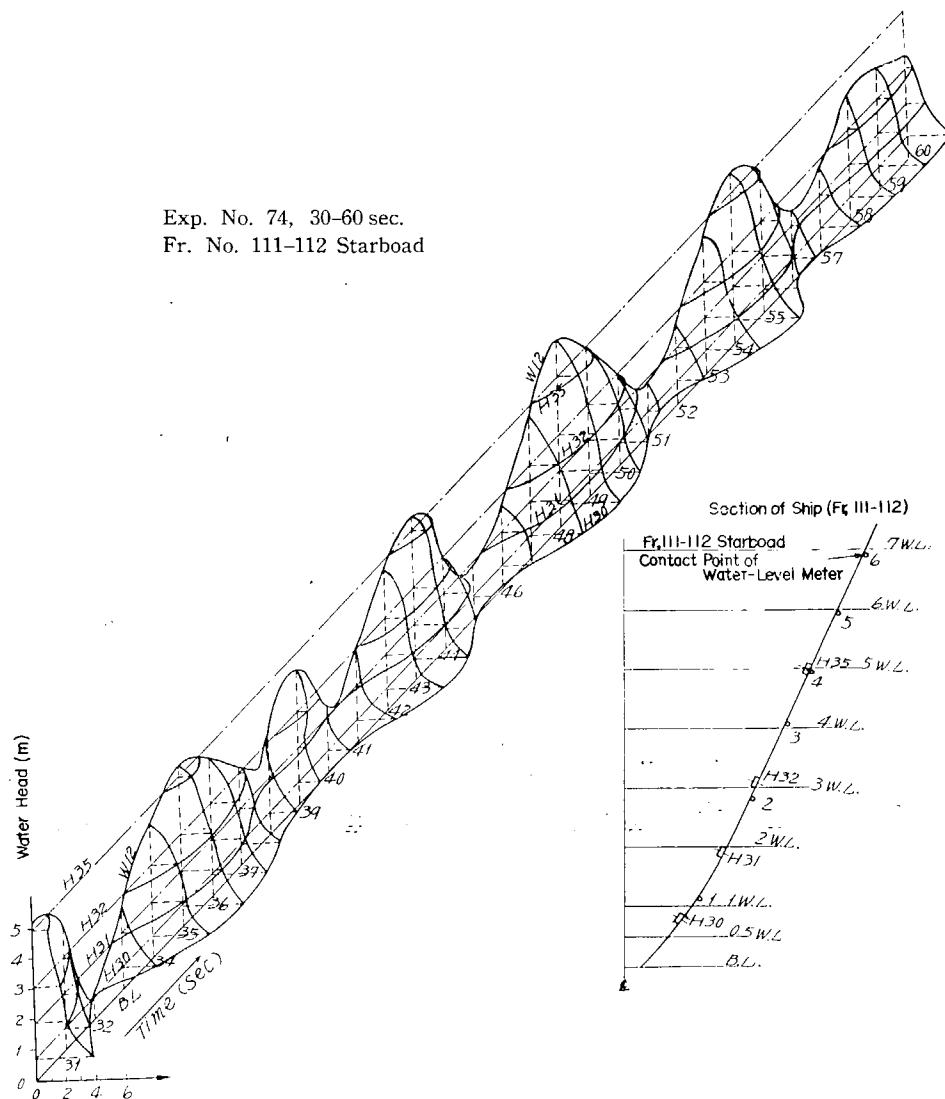


Fig. 6・9 Water Head Distribution at One Section

この断面における水圧分布は Fig. 6·10 に示すように、船の運動状態によって交互に (b) または (c) の傾向を示すようであるが、各瞬間ににおける波の寸法や位相、船体運動との位相差などにより種々雑多な現象を示している。

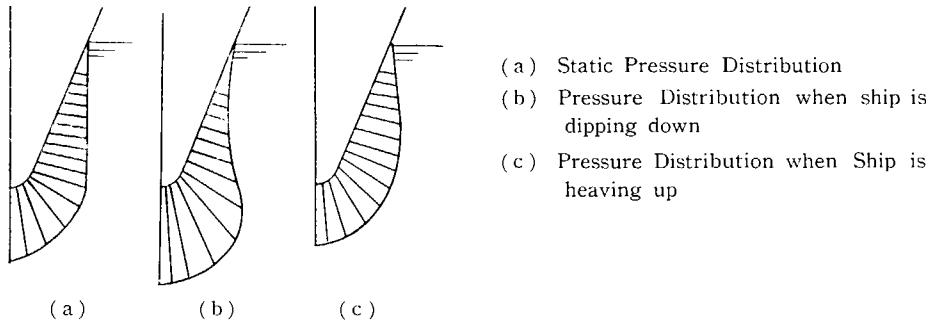


Fig. 6·10 Water Pressure Distribution

#### 6·3·4 船首における衝撃的水圧

今回の実験においては船首船底が衝撃的に叩かれる現象は感覚的には数多く経験したが、水圧計の記録としては Fig. 6·11 (a) のように衝撃圧力が瞬間的に加わる例はなく、いつも (b) のような記録曲線ばかりであつた。すなわち圧力は直線的に上昇するが、時間軸に垂直となるほど瞬間的ではない。

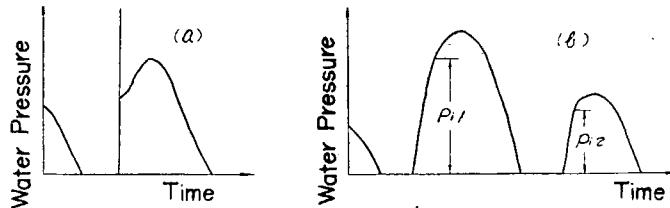


Fig. 6·11 Impulsive Water Pressure

Wagner によると衝撃的水圧は船と水との相対速度の自乗に大体比例するとして

$$p_i = C(dw/dt)^2 \quad (dw/dt > 1)$$

なる関係を出しているが、今衝撃的水圧  $p_i$  を Fig. 6·11 (b) のごとく直線部分の終りの水圧値とし、その瞬間の  $dw/dt$  を水位計記録から求めて図示すると Fig. 6·12 となり、大体上式の関係が成立つ

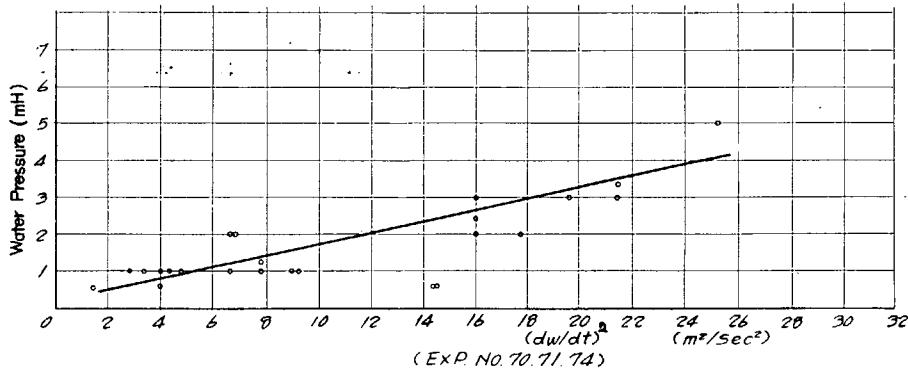


Fig. 6·12 Impulsive Water Pressure at Bow

ていることがわかる。

### 6・3・5 トロコイド波における水圧と水位

トロコイド波中のすべての水粒子は一定角速度で円運動を行なつておる、波中の任意の点における水圧はその点の水粒子の回転中心の静水圧に等しい。Fig. 6・13 (a) にみる通り、波の山（位相角 $\theta=0$ ）を通る鉛直線上の点では水圧（ $H_r$ ）はその点の水位に相当する静水圧（ $W_r$ ）よりは低く、反対に谷（ $\theta=\pi$ ）においては水圧（ $H_b$ ）は水位（ $W_b$ ）より高く出ているが、このことは周知の通りである。

#### (a) 変化量の比較

Fig. 6・13 (a) において、波長  $L_w$ 、波高  $H_w$  なるトロコイド波を考えた場合に、静水時において深さ 4.5 m (本船の平均喫水) の点 O の水圧と水位の変化量を比較する。波の山 ( $\theta=0$ ) が来た場合の O 点の水圧と水位 (船は静止しているとして) を  $H_r$ ,  $W_r$ , 谷 ( $\theta=\pi$ ) の場合を  $H_b$ ,  $W_b$  とすると、O 点における

$$\text{水圧変化量は } \delta H = H_r - H_b = \overline{BC} \text{ (mH)}$$

$$\text{水位変化量は } \delta W = W_r - W_b = \overline{AD} \text{ (mH)}$$

となる。この変化量の比

$$\chi = \delta H / \delta W$$

をいろいろの  $L_w$  と  $H_w$  について計算すると Fig. 6・14 となり、 $\chi$  は波高  $H_w$  によつてはあまり変わらないが、波長  $L_w$  が短くなると急激に小さくなることが判る。

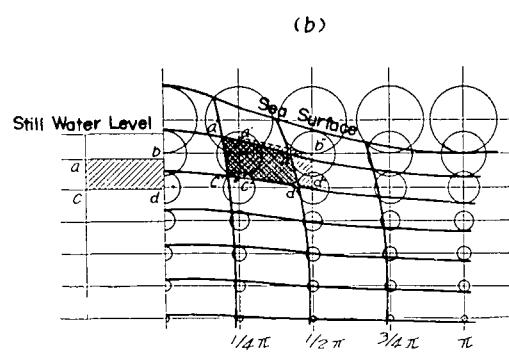
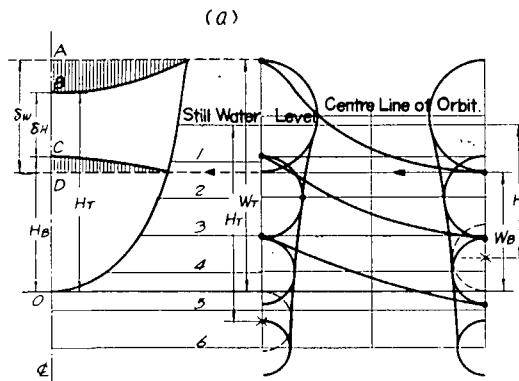
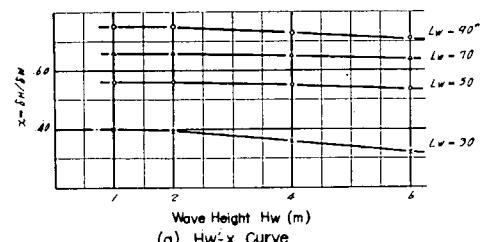
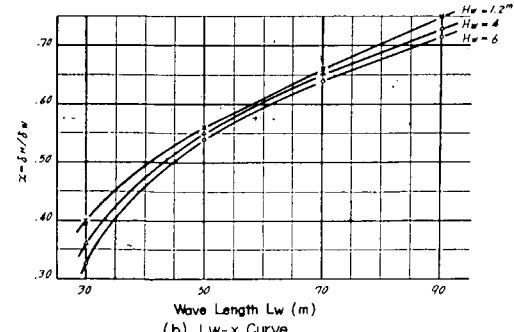


Fig. 6・13 Trochoidal Wave

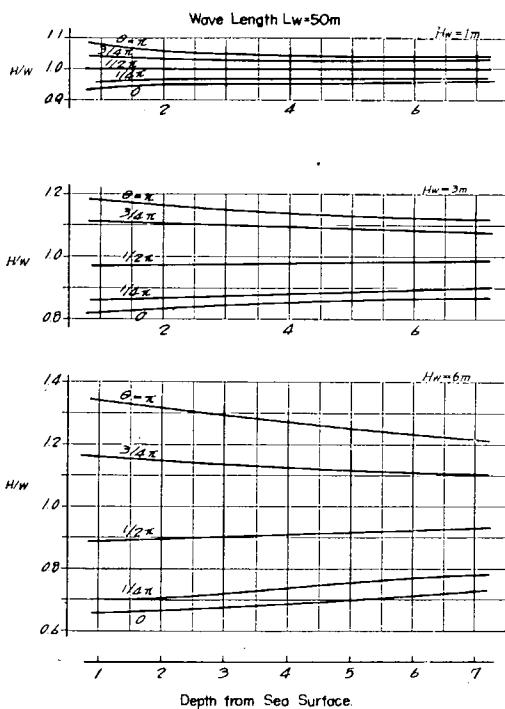


(a)  $H_w \times \chi$  Curve

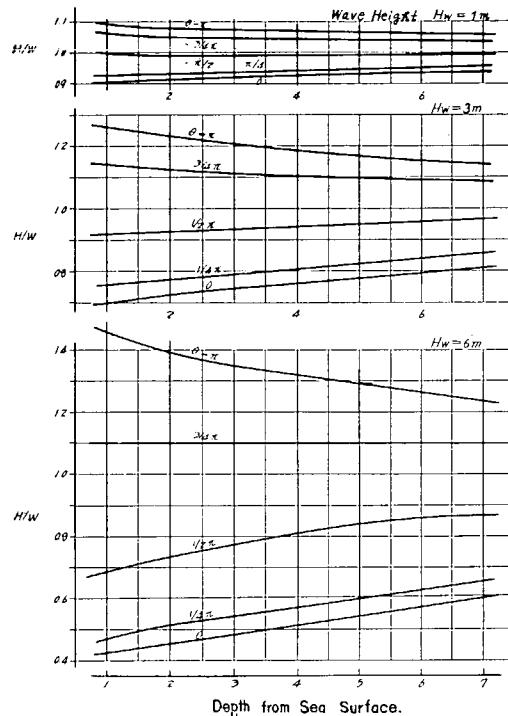


(b)  $L_w \times \chi$  Curve

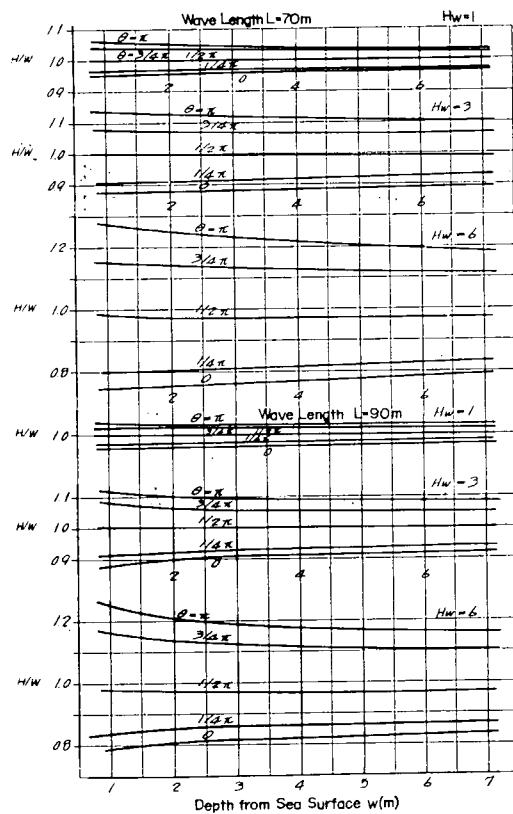
Fig. 6・14 Comparison between Variation of Water Pressure and Water Level in Trochoidal Wave



(1)



(2)



(3)

Fig. 6.15 Ratio of Water Pressure to Water Level in Trochoidal Wave

### (b) 絶対値の比較

トロコイド波中のある点の水圧絶対値を  $H$  (mH), その点の水位 (波の表面からの深さ) を  $W$  (m) として, 水圧と水位の比  $H/W$  を波長  $L_w$ , 波高  $H_w$ , 位相角  $\theta$  および水位  $W$  をいろいろ変化させて求めてみると Fig. 6-15 (1)~(3) のようになる。ただし, トロコイド波理論においては山および谷 ( $\theta=0, \pi$ ) 以外の所では同一鉛直線上にある水粒子は同一位相ではなく僅かに外れていて, Fig. 6-13 (b) において静水中で矩形格子  $a, b, d, c$  で区画される粒子は歪格子  $a', b', d', c'$  に示される位置に来るが, ここでは簡単のために同一鉛直線上の粒子は同一位相にあるとして  $a'', b'', d'', c''$  に来るものとした。ここに扱つた  $H_w/L_w$  の範囲では大した誤差はないものと思われる。

Fig. 6-15 は波長  $L_w=30, 50, 70, 90$  m, 波高  $H_w=1, 3, 6$  m の場合について水位  $W$  と水圧水位比  $H/W$  との関係を位相角  $\theta$  をパラメタとして表わしたものである。

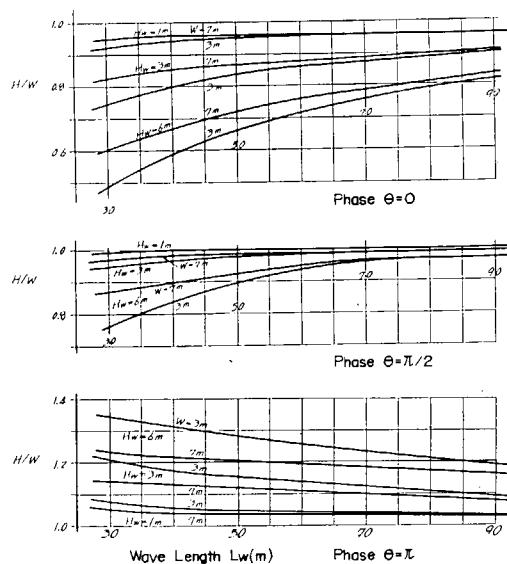


Fig. 6-16 Relation between Wave Length  $L_w$  and  $H/W$

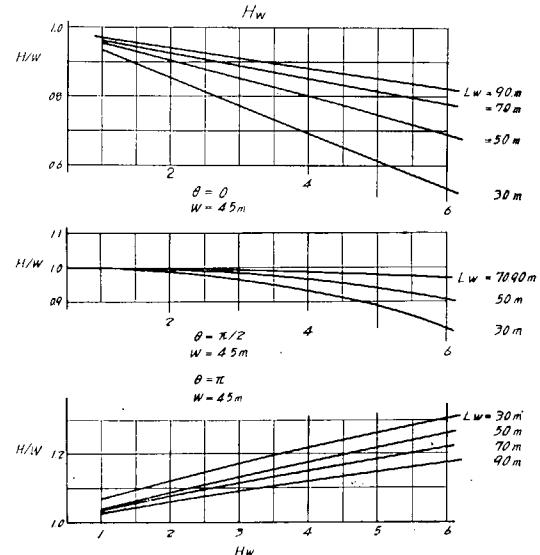


Fig. 6-17 Relation between Wave Height  $H_w$  and  $H/W$

Fig. 6-16 はこれらを総合して  $\theta=0, \pi/2$  の場合について, 波長  $L_w$  と  $H/W$  の関係を波高  $H_w$  をパラメタとして表わしたものである。煩雑を避けるため水位  $W$  は 3~7m の範囲についてのみ記入した。Fig. 6-17 は波高  $H_w$  と  $H/W$  の関係を波長  $L_w$  をパラメタとして表わしたもので, 水位  $W$  は 4.5 m (本船の平均喫水) とした。

以上の図面からも明らかのように  $H/W$  に対する各変数の影響は,

- (1) 波長  $L_w$ :  $L_w$  の小さいほど  $H/W$  は 1.0 からの偏差が大きくなっている。
- (2) 波高  $H_w$ :  $H_w$  の大きいほど  $H/W$  の偏差が大きく,  $L_w$  の影響よりも顕著である。
- (3) 頂度  $H_w/L_w$ :  $H_w/L_w$  の大きいほど  $H/W$  の偏差が大きくなるが,  $H_w/L_w$  が 1/10 以上の急峻な波でなければ大きい変化はない。
- (4) 位相角  $\theta$ :  $\theta=0$  (山) および  $\theta=\pi$  (谷) で偏差が大きいが, 表面に近い所 ( $W$  の小さい所)

では山よりも谷の方で偏差が大きい。

(5) 水位  $W$ : 表面に近い ( $W$  が小さい) ほど偏差が大きい。 $W$  が大きくなるにつれて  $H/W$  は 1 に漸近するが、その収斂状況は普通にトロコイド波模型図などで想像されるよりは遙かに緩慢で、船底の水圧を論ずる程度の深さの範囲 (本船では 4~6 m) では、むしろある一定値になると考えた方が適切のようである。

### 6・3・6 水圧と水位の変化量の比較

前項 (a) の水圧と水位の変化量の比

$$\chi = \delta H / \delta W$$

を、本船において水位計を設置した 6 断面について求めてみる。

向波  $0^\circ$  の実験番号 60, 71, 74, 100, 111, 120 の 6 回について、 $\chi$  の値の頻度分布を求める Fig. 6・18 (a) となり非常に分散が大きい。

今、水圧水位の変化量の比  $\chi$  とその出現頻度  $y$  (%) との関係を数式で表わすため、かりに W 1,

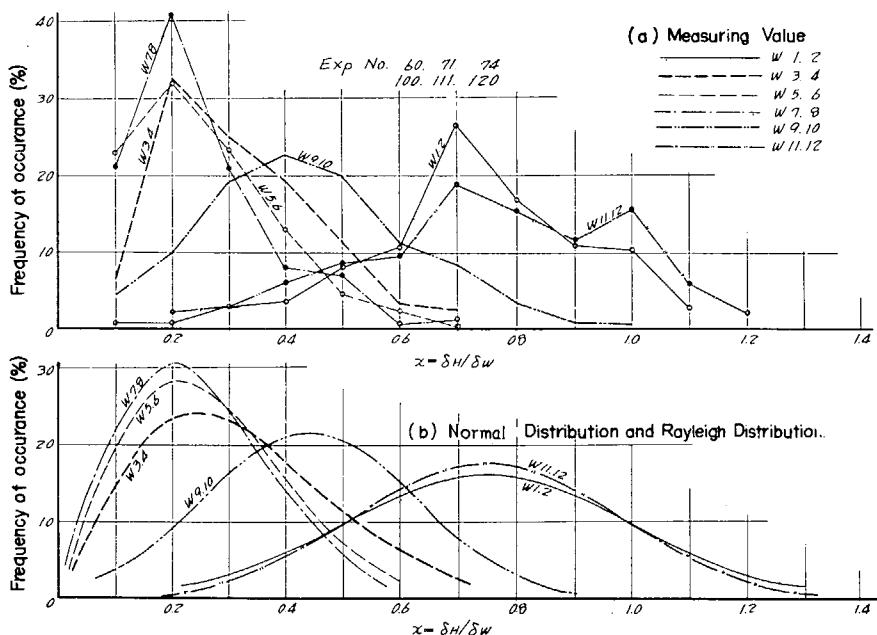


Fig. 6-18 Ratio of Variation of Water Pressure to Water-Level

Table 6-2 Distribution Function

Section	Measuring Number	Distribution Function	$\sigma$	$E$	$x$ for $y_{\max}$
W 1, 2	136		2.48	—	$a=0.760$
W 9, 10	160	$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x-a)^2/2\sigma^2} \times 100$	1.83	—	$a=0.450$
W 11, 12	128		2.30	—	$a=0.753$
W 3, 4	160		—	12.36	$\sqrt{E/2}=0.294$
W 5, 6	154	$y = \frac{2x}{E} e^{-x^2/E} \times 100$	—	9.14	$\sqrt{E/2}=0.214$
W 7, 8	172		—	8.10	$\sqrt{E/2}=0.201$

2・W 9, 10・W 11, 12 の3断面については正規分布, W 3, 4・W 5, 6・W 7, 8 の3断面については Rayleigh 分布(6・1 節参照)と仮定すると, Table 6・2 のようになり,これを図示すると Fig. 6・18 (b) が得られる。ここで船首部において水圧計が海面上に露出する場合は,  $\delta H$  としては再び没入したときの水圧最大値(絶対値)をとり,  $\delta W$  は同時刻の水圧計の深さをとつた。

各断面における頻度最大の  $\chi$  値を図示すると Fig. 6・19 が得られる。縦揺れの影響の少ない船体中央附近では、大体頻度最大の  $\chi$  は一定となつていてある。

もちろんこれはこの実験海面における頻度分布であつて、海面状況が変われば分布状況もまた当然変化するものと思われる。この海面に限定しても頻度最大といつても 20~30% 程度で極めて分散が大きいから、この結果から任意の時刻における  $\delta H/\delta W$  を推定することは難しい。

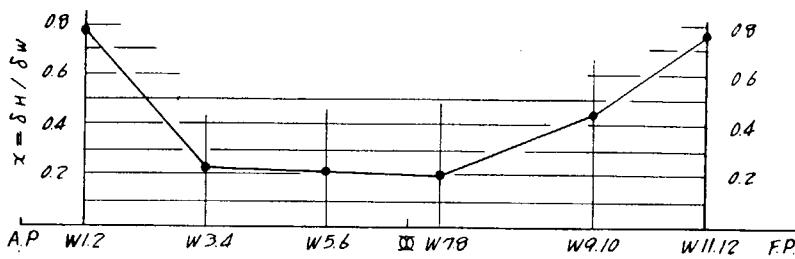


Fig. 6-19 Maximum Frequency of  $\delta H/\delta W$  at Each Section

### 6・3・7 船首における水圧と水位

船首附近は水圧の絶対値が得られているので、水位との比較を行なつたものを Fig. 6・20~6・22 に

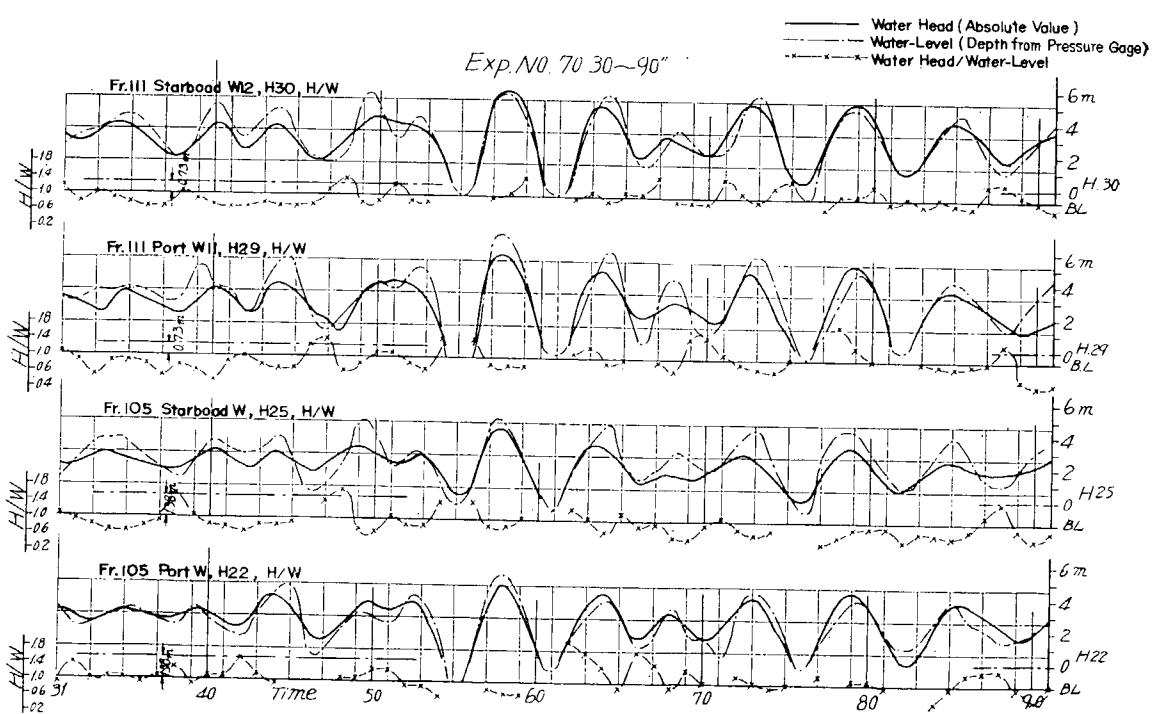


Fig. 6-20 Ratio of Water Head to Water-Level at Bow

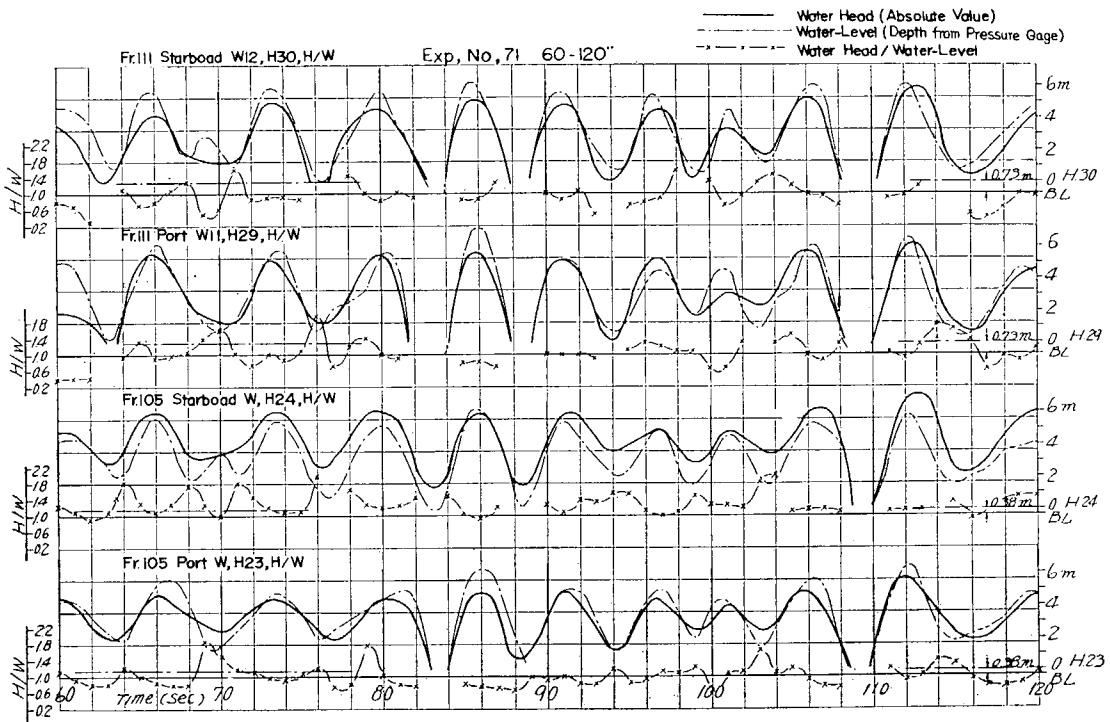


Fig. 6-21 Ratio of Water Head to Water-Level at Bow

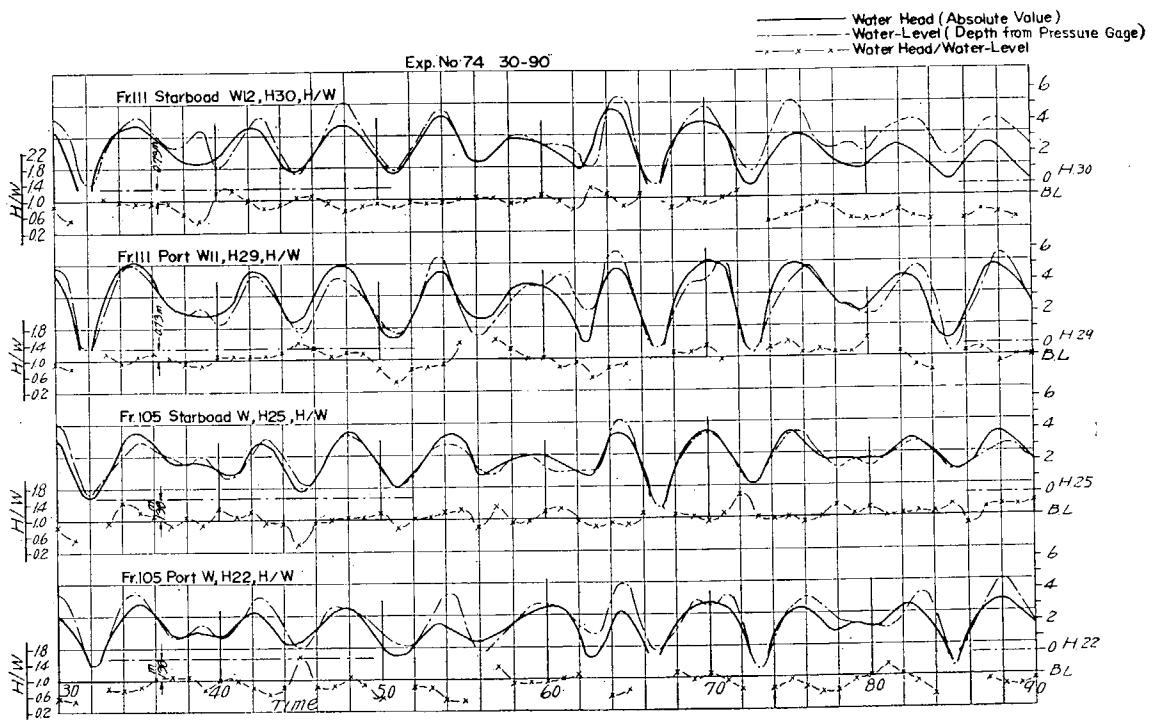


Fig. 6-22 Ratio of Water Head to Water-Level at Bow

示す。実験番号 70 (30~90 秒), 71 (60~120 秒) および 74 (30~90 秒) について、絶対値の判つている水圧曲線と、同断面の水位曲線（水位計の設置していない断面ではウェーブ・プロフィルから求めた）および水圧水位の絶対値の比  $H/W$  を図示したものである。

前にも述べた通り、船底附近では大体において没入時に  $H/W > 1$  で、浮揚時に  $H/W < 1$  (水面近くでは逆の現象を示す) の傾向はあるが、図に見る通り相当乱雑な現われ方をしている。

これは次の理由によると思われる。

- (1) 船首部は縦揺による上下動が大きいが、それらが必ずしも水面の上下動と位相が合致していないので、動的影響が日々になつていていること。
- (2) 船首部は波が船体に当つて破壊されること。
- (3) 船首部はしぶきをかぶることが多いが、水位計はしぶきにも感じて実際の波とは違つたものを記録していることが多いこと。

#### 6・3・8 船体中央における水圧と水位

船体中央附近は水圧の絶対値は不明で変化曲線だけしか求められていないが、水位計の記録から前述のトロコイド波の仮定を用いて水圧絶対値の推定を試みた。Fig. 6・23 において (a) は水位計の記録、(b) は加速度計記録から求めた船体中央部の上下動の記録である。両者の和を求めるときその断面における水面の上下動 (波) の曲線 (c) が得られる。(a), (c) を比較すれば明かなように両者の位相差はほとんど認められない。

Table 6・1 の波長、波高の表から、この場合 (試験番号 71) は  $L_w = 50 \text{ m}$ ,  $H_w = 4 \text{ m}$ , ((c) 図と大体一致している) が得られるが、これをトロコイド波と仮定すると

$$L_w = 50 \text{ m}, \quad H_w = 4 \text{ m}, \quad W = 4.5 \text{ m}$$

として Fig. 6・23 から  $H/W$  の値が各位相に対して (d) 図のように得られる。波長、波高、波の進行速度、対水船速および出会い周期などを考え合わせると、トロコイド波理論による値と実測値の間には非常な差があるが、ここでは一応 (c) 図のような波で (e) 図のような水圧を示すものと仮定する。(a) 図の水位  $W$  の値に波 (c) の位相 (實際には (a) の位相と一致する) に応じて (d) の  $H/W$  の値を乗ずると水圧絶対値の推定値 (e) が得られる。これを水圧計の記録曲線 (f) と比較すると振幅に若干の差はあるが大体によく合っている。多少の誤差は上下動による動的影響等 (附加水の影響) と考えられる。

以上本節では主として水圧計と水位計の記録の相互関係について考察を加えてきたが、両者の関連を体系づけるには資料不足やその他困難な点が多い。

しかし、水圧計、水位計はいずれも船体応力解析のための外界条件の資料を得るという本来の目的は一応果し得たものと考えられる。今回の解析に当つて更に改良した方がよいと思われる点を下に要約する。

水圧計は

- (1) 海面上に露出しなくとも常に水圧絶対値が求められることが望ましい。
- (2) ピックアップとしている抵抗線歪計の感度や增幅器の増幅度の変化なども考えられるので、

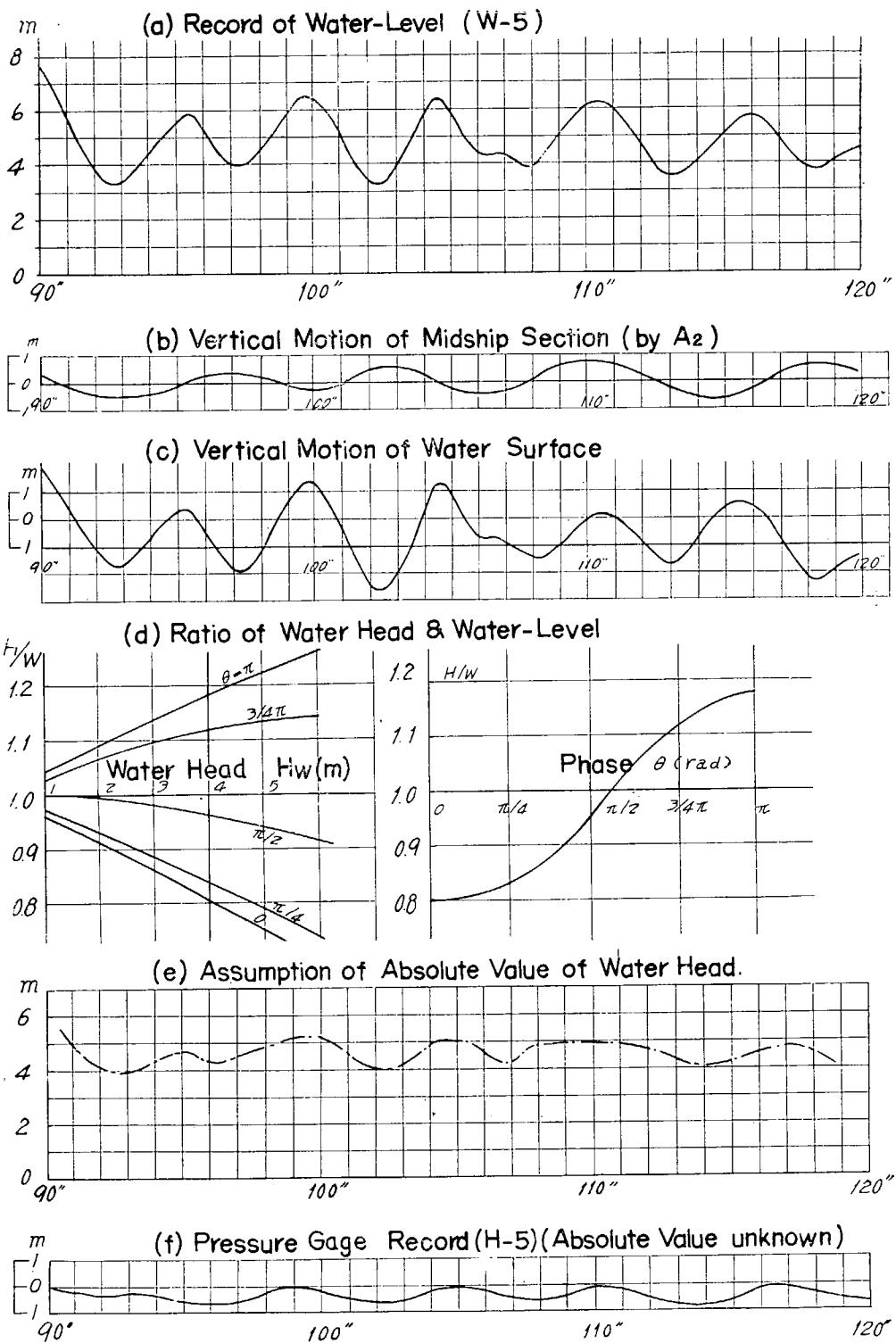


Fig. 6-23 Presumption for Absolute Value of Water Head

航海中隨時に較正できるような装置が欲しい。

水位計は

- (1) 接点数を増加して長さ方向にも上下方向にもさらに密に配置し、一瞬間の記録だけで完全なウエーブ・プロファイルが求められることが望ましい。
- (2) 水位の記録と併行して縦揺、横揺、上下動などの船体運動の正確な記録が必要である。
- (3) 水位計で測る船側の波ばかりでなく、船の影響を受けない周辺の波も適確に記録することが望ましい。

#### 6・4 スラミングによる船体応力

##### 6・4・1

スラミング時に船体に生じた応力と、水圧、水位、加速度、動揺との関係について解析し、船体の受ける衝撃力についてはV型船底の水面衝撃の理論と比較する。船体を剛体と仮定した場合の船首船底衝撃力による船体応力を計算し、これと実測値を比較する。

##### 6・4・2 加速度計から求めたスラミング

銀河丸について加速度計測を行つた資料の中で解析に適當なものとして、実験番号 70, 71, 81 を選んだ。これらの記録のうちスラミングが起つた時刻について調べると Table 6・3 が得られる。これらのうち実験番号 71 と 81 は加速度の絶対値が小さく、応力もまた小さいため、解析が困難であるから、以後実験番号 70 について解析を進めることにする。実験番号 70 のスラミング時前後の加速度変化の状態は Fig. 6・24 に示すとおりであるが、これから 56.2'' の時刻に衝撃力を受けたものと推定できる。

Table 6-3 Results of Accelerograph Measurement when Slamming

Exp. No.	Accelerograph	Pitching Acceleration		Vibrating Acceleration		
		Time	Amplitude (m/sec <sup>2</sup> )	Time	Double Amplitude (m/sec <sup>2</sup> )	Amplitude (m/sec <sup>2</sup> )
70	$a_1$	56.2''	-5.6	56.2''	-0.8	-0.4
	$a_3$	56.9''	+5.1	56.2''	+3.0	+2.0
[56.2''～61'' 2 Node Vibration (160 cpm)]						
71	$a_1$	2'38.6''	-3.4	—	—	—
	$a_3$	2'38.7''	+3.6	2'38.2''	+1.5	+0.9
81	$a_1$	2'13.2''	-5.1	—	—	—
	$a_3$	2'13.5''	+4.1	2'13''	+1.8	+1.0
[2'13''～2'23.6'' 2 Node Vibration (160 cpm)]						

$a_1$ =Accelerograph at Stern     $a_3$ =Accelerograph at Bow

+ Symbol of Amplitude is Upward Acceleration

##### 6・4・3 スラミング時の応力計測結果

前節の結果から、56.2'' の時刻に衝撃力を受けたと考えられるので、その時刻前後の応力を調べると、計測結果は Fig. 6・25 に示すとおりである。これから波浪による応力に重畠した振動応力は、甲

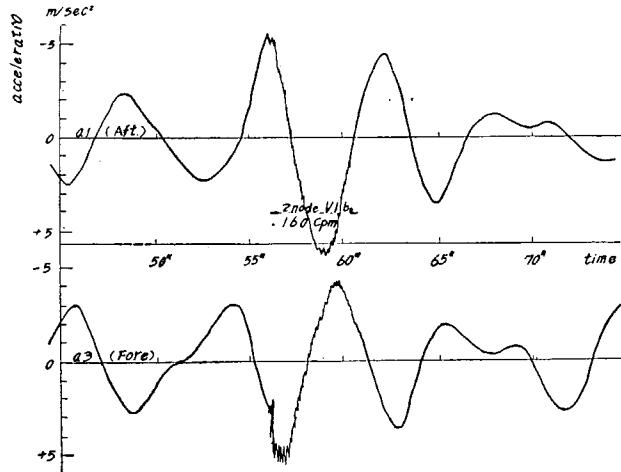


Fig. 6·24 Results of Accelerograph Measurement when the Slamming of Exp. No. 70.

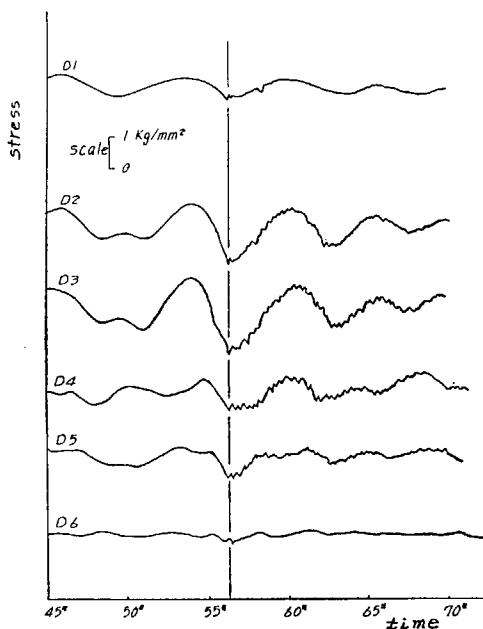


Fig. 6·25 Measurement of Deck Stresses when the Slamming of Exp. No. 70.

#### 6·4·4 スラミング時の水圧計測結果

加速度計と応力の計測結果から、船体は 56.2'' の時刻に何らかの外力の作用を受けたと考えられるが、この時刻の前後の水圧計測結果の例を Fig. 6·26 に示す。

今回の実験番号 70 のスラミング時 (56.2'') 前後の水圧の最小値、直線的水圧増加の終りの時刻と水頭、極大値になった時刻と水頭を調べると Table 6·5 のようになる。

これらの結果を見ると、56.2'' という時刻は船体前半部にある水圧計が最小水圧を示す時刻よりは 1 秒前後おそらく、極大値を示す時刻よりは 0.5 秒前後はやい。直線的に水頭の増加する最後の時刻は

板上の応力計測点 D 1～D 6 ともすべて 56.2'' から始つており、前節応力の最初の山を Table 6·4 に示す。

Table 6·4 First Max. Value of Vibrating Stress in Deck Stress of Exp. No. 70.

Measuring Point	Distance from F. P. (L: Ship Length)	Stress* (kg/mm <sup>2</sup> )
D 1	0.85 L	-0.1
D 2	0.71 L	-0.3
D 3	0.57 L	-0.4
D 4	0.45 L	-0.2
D 5	0.32 L	-0.15
D 6	0.12 L	+0.05

\* Stress Symbol { +: Tension  
-: Compression }

Table 6-5 Water Pressure Measurements of Before &amp; After Slamming

Water Pressure Measuring Point	Distance from F. P.	Side	Height from Base Line (m)	Time of Zero* or the Minimum of Water Pressure	End of Linear Increment		Max. Value	
					Time	Head <sup>△</sup> (m)	Time	Head <sup>△</sup> (m)
H 1	0.93 L	P.	1.06	56.0''	—	—	59.2''	4.3
H 2	"	S.	"	55.6''	—	—	59.2''	4.6
H 3	0.76 L	P.	0.00	56.2''	—	—	58.4''	1.0
H 4	"	S.	"	56.0''	—	—	58.0''	1.3
H 5	0.60 L	P.	"	56.8''	—	—	59.2''	"
H 6	"	S.	"	56.2''	—	—	"	1.1
H 7	0.44 L	P.	"	56.0''	—	—	58.6''	0.8
H 8	"	S.	"	56.5''	—	—	"	0.6
H 9	0.35 L	P.	"	54.5''	—	—	57.6''	1.2
H 10	"	S.	"	54.6''	—	—	"	0.8
H 11	0.30 L	P.	"	54.2''	—	—	57.5''	1.9
H 12	"	S.	"	54.6''	—	—	57.8''	1.6
H 13	0.24 L	P.	"	54.0''	—	—	57.6''	3.4
H 14	"	S.	"	54.0''	—	—	56.4''	3.1
H 15	0.21 L	P.	2.26	55.0''*	55.4''	2.0	56.7''	5.0
H 16	"	"	0.60	54.6''	—	—	57.2''	3.9
H 17	"	"	0.00	54.0''	—	—	56.2''	4.5
H 18	"	S.	"	54.0''	—	—	57.0''	3.8
H 19	"	"	0.60	54.0''	—	—	"	4.0
H 20	"	"	2.26	54.6''*	55.0''	1.4	56.6''	3.4
H 21	0.17 L	P.	3.19	55.4''*	56.2''	3.0	57.0''	3.8
H 22	"	"	1.38	55.0''*	55.8''	3.2	"	4.6
H 23	"	"	0.38	53.9''	—	—	56.7''	6.0
H 24	0.17 L	S.	0.38	54.2''	—	—	56.5''	5.8
H 25	"	"	1.38	54.2''	—	—	56.5''	4.3
H 26	"	"	3.19	55.0''	55.8''	2.6	56.0''	3.3
H 27	0.11 L	P.	3.04	55.3''*	55.9''	4.0	56.5''	5.5
H 28	"	"	1.86	55.0''*	55.8''	4.6	56.5''	5.6
H 29	"	"	0.73	55.0''*	55.3''	3.0	56.6''	5.8
H 30	"	S.	"	54.7''*	54.9''	2.0	56.5''	5.9
H 31	"	"	1.86	55.0''*	55.3''	2.0	56.6''	4.0
H 32	"	"	3.04	55.0''*	55.4''	1.6	56.8''	3.0
H 35	"	"	4.98	55.5''*	55.8''	1.8	56.8''	3.3
H 33	0.09 L	P.	1.90	55.2''*	56.0''	4.0	56.6''	4.5
H 34	"	S.	"	55.0''*	55.8''	4.8	56.5''	5.8
H 36	"	"	4.54	55.6''*	55.8''	2.2	56.8''	4.0

<sup>△</sup>: Difference between Max. and Min. Water Head is shown.

\*: Water pressure gage appeared above the sea level, indicating zero pressure exactly and the water head in this case shows correct absolute value of water pressure.

56.2'' より幾分はやいが、Wagner<sup>1)</sup> の理論によれば、V 型船底の水面衝撃に際しては、最大水圧が水面と船側の接触部に生ずることが知られているので、直線的水頭の増加を示す時刻より、僅かおそい 56.2'' という時刻に水圧計の配置していない位置で直線的水圧力の増加が最大になると考えられないこともない。

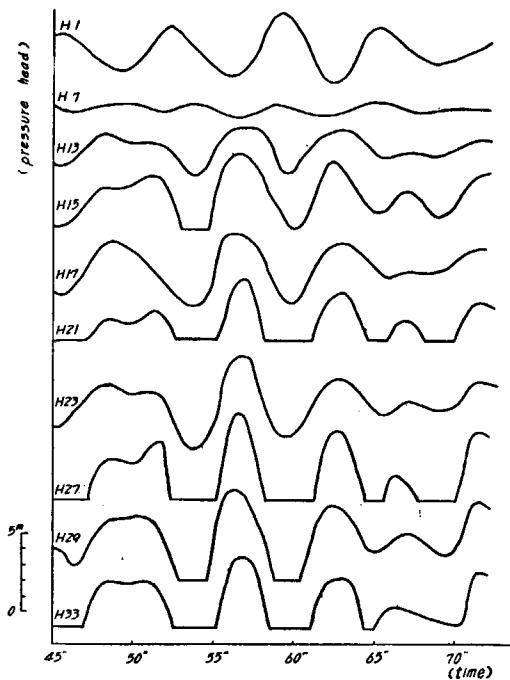


Fig. 6-26 One Example Measurements of Water Pressure Gages when the Slamming of Exp. No. 70.

#### 6・4・5 スラミング時の水位計測結果

実験番号 70 の 56.2'' 前後における水位計測の結果を Fig. 6-27 に示す。これからスラミング時前

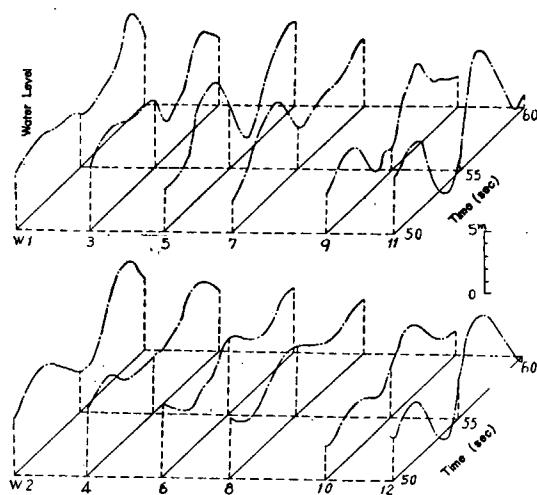


Fig. 6-27 Exp. No. 70, Some Result of Water-Level Measurement when Slamming

Table 6·6 Water Level Measurement Before and After Slamming

Water-Level No.	Distance from F. P.	Side	Min. (S) or Max. (L) Value		Depth of 56.2'' (m)	Min. (S) or Max. (L) Value	
			Time	Water-Level (m)		Time	Water-Level (m)
W 1	0.93 L	P.	54.6''	4.6 (L)	3.9	55.5''	3.7 (S)
W 2	"	S.	53.0''	6.0 (")	3.0	56.0''	3.0 (")
W 3	0.76 L	P.	55.1''	5.2 (")	2.6	56.2''	2.6 (")
W 4	"	S.	52.2''	6.0 (")	4.6	55.8''	4.4 (")
W 5	0.60 L	P.	53.8''	8.0 (")	1.4	56.6''	0.8 (")
W 6	"	S.	55.0''	6.0 (")	5.0	57.7''	3.8 (")
W 7	0.44 L	P.	53.4''	7.4 (")	3.4	55.5''	3.0 (")
W 8	"	S.	54.0''	6.0 (")	4.4	57.0''	3.8 (")
W 9	0.24 L	P.	55.0''	1.6 (S)	5.0	57.0''	6.5 (L)
W 10	"	S.	53.8''	2.8 (")	5.8	56.2''	5.8 (")
W 11	0.11 L	P.	54.8''	0	7.6	56.6''	8.0 (")
W 12	"	S.	54.5''	0	6.2	56.6''	6.4 (")

の水位を読み取ると Table 6·6 が得られる。この表においてはスラミングの起つた 56.2'' の時刻の水位のほかに、船の中央から後部へかけての水位計 W 1~W 8 については 56.2'' の前の極大値とその後の極小値を示し、船の前部の水位計 W 9~W 12 については、56.2'' の前の極小値とその後の極大値を示している。水位 0 の時刻は、船底が水面に接した時刻をとつていて。この表から 56.2'' においては左舷船首部の水位が右舷よりもかなり高いことが観察される。

#### 6·4·6 スラミング時の動揺計測結果

実験番号 70 の 56.2'' 前後の動揺計測結果を Fig. 6·28 に示す。

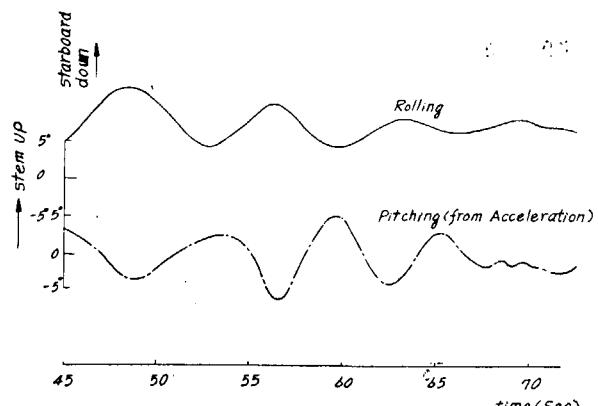


Fig. 6·28 Rolling Measurements of Exp. No. 70

この図から 56.2'' の前後の動揺を読み取ると Table 6·7 が得られる。動揺計による縦揺の記録は不完全であるため加速度計記録から計算したものを用いた。横揺の記録は 0 点が不明である。

これから問題の 56.2'' の時刻では横揺は右舷が下りきつたところで、水位は前節の結果から逆に左舷船首が高いから、左舷船前に衝撃を受けたことがわかる。

縦揺ではスラミング前後は縦揺角が大きくなつてきており、衝撃力を受ける直前の船首の下り角も

Table 6-7 Rolling Measurements

(a) Rolling			(b) Pitching			
	Time	Difference of Angle		Time	Pitching Angle	Difference of Angle
Starboard down	48.5''	8.0°	Stem down	48.6''	-3.8°	+6.8°
Port down	52.7''	6.2°	Stern down	53.2''	+3.0°	-9.0°
Starboard down	56.2''	5.7°	Stem down	56.4''	-6.0°	+11.7°
Port down	59.8''	3.8°	Stern down	59.3''	+5.7°	-9.5°
Starboard down	63.2''		Stem down	62.2''	-3.8°	

大きいが、受けた後の船首の上り角の方がさらに大きいことが観察される。

#### 6・4・7 スラミングによる船体応力の理論計算

スラミングによる水圧は船首船底に集中的に生じているので、Fig. 6-29 に示すように、F. P. から  $f$  のところに  $P$  なる力が働くとする。船の排水量を  $W$ 、重心をとおる横軸のまわりの慣性モーメントを  $I$ 、重心から  $P$  までの距離を  $e$  とする。船体を剛体と考えると、重心の上向の加速度  $\ddot{z}_1$  は

$$\ddot{z}_1 = \frac{P}{W/g}$$

となる。ここで  $g$  は重力の加速度である。

重心の周りの角加速度  $\ddot{\theta}$  は

$$\ddot{\theta} = \frac{eP}{I/g}$$

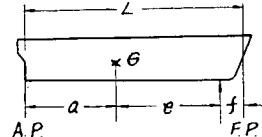


Fig. 6-29

である。A. P. から重心までの距離を  $a$  で表わすとき、A. P. から  $x$  なる点の総合上向加速度  $\ddot{z}$  は次のようになる。

$$\ddot{z} = \ddot{z}_1 + (x-a)\ddot{\theta}$$

船の重量曲線を  $w(x)$  とすれば、荷重曲線  $L(x)$  は  $-w(x)\ddot{z}/g$  なる分布荷重と  $x=L-f$  に働く集中荷重  $P$  である。剪断力曲線  $F(x)$ 、曲げモーメント曲線  $M(x)$  は  $L(x)$  を順次積分することによつて求められる。

次に銀河丸について実際の数値計算を行なう。銀河丸の重量分布は Table 6-8 に示すとおりである。

この基礎分布重量  $W_0=1,997.8\text{ t}$  を Fig. 6-30 に示すように Biles の方法で分布せしめ、これに集中荷重  $W_i$  を加えて船の重心位置を計算すると、重心  $G$  の位置は 2.62 m abaft  $\bowtie$  となる。

集中荷重が多いと後の計算が面倒になるので、全排水量  $W=3,861.6\text{ t}$  を Biles に似た方法で分布せしめ、A. P., F. P. のオーディネートを加減して、重心位置を前記の値に合せると Fig. 6-31 が得られる。

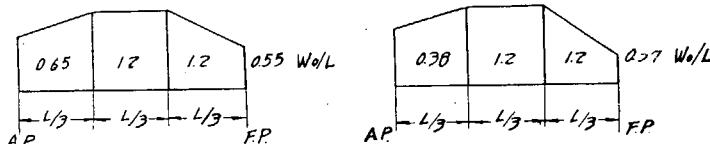


Fig. 6-30 Distribution of Weight (Biles) Fig. 6-31 Distribution of Weight

Table 6·8 Weight Distribution (Ginga Maru)

I. Basic Weight Distribution (Biles Distribution)					
Items			Items		
1. Hull Steel	1,281 t		5. Electric		6.6 t
2. Hull Wood	80		6. Miscellaneous		57
3. Fitting	475.2		7. Crews & Effects		20
4. Piping	38		8. Consumable & Food		40
Sum (I) 1,997.8 t (=W <sub>0</sub> )					
II. Concentrated Weights					
Items	W <sub>i</sub> (t)	Distance to the C.G. of W <sub>i</sub> , x <sub>i</sub> (m)*	Items	W <sub>i</sub> (t)	Distance to the C.G. of W <sub>i</sub> , x <sub>i</sub> (m)*
1. Main Engine	79	5.6	12. No. 1 Hold	16.6	-32.6
2. Shaft & Propeller	53	27.1	13. No. 1 F. W. T.	79.4	-31.87
3. Auxiliary Engine	41.6	2.4	14. No. 6 F. W. T.	101.4	17.58
4. Boiler	30	-2.1	15. No. 7 W. B. T.	27.4	31.28
5. Funnel & Uptake	18	0	16. No. 1 W. T.	64.3	11.36
6. Windlass	8.5	-39.5	17. No. 2 W. T.	239.1	19.12
7. Steering Engine	4.1	43.8	18. No. 3 D. T.	225.5	30.87
8. Water & Oil in Engine Room	68.0	-2.88	19. A. P. T.	57.9	42.79
9. No. 1 D. T.	208.7	-13.10	20. No. 4 Fd. W. T.	3.3	-1.30
10. No. 2 D. T.	338.9	-8.21	21. No. 5 Fd. W. T.	78.2	5.98
11. No. 3 F. O. T.	30.7	-7.75	22. No. 2 W. B. T.	90.2	-18.00
Sum (II) 1,863.8 t					
Total 3,861.6 t					

\* +: Aftward of the C. G., -: Forward of the C. G.

銀河丸の実験結果から見ると、最大水圧は F. P. から 0.09~0.11 L で起つてゐる。この計算では  $f=0.1 L$  に集中衝撃力  $P$  が加わると考える。加速度、荷重、剪断力、曲げモーメントはすべて  $P$  に比例するから、本節においては  $P$  の単位量について計算を進め、 $P$  の絶対値については次節において吟味することとする。

計算に必要な数値は、銀河丸について次のとおりである。

$$L=92.00 \text{ m}$$

$$W=3,861.6 \text{ t}$$

$$f=9.20 \text{ m}$$

$$I=2,450.000 \text{ t-m}^2$$

$$e=39.42 \text{ m}$$

$$g=9.80 \text{ m/sec}^2$$

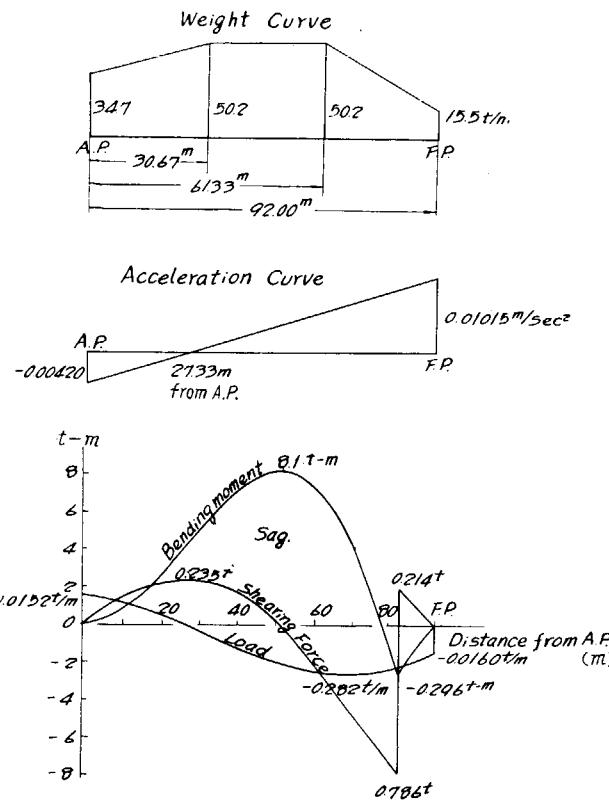
$$a=43.38 \text{ m}$$

$P$  の単位を t で表わせば

$$\ddot{z}=P(0.000157x-0.000429) \text{ m/sec}^2$$

となる。重量曲線および  $P$  の 1 t 当りの加速度、荷重、剪断力、曲げモーメント曲線を描くと Fig. 6·32 のようになる。

以上のような計算を行なうに当つて、見掛けの質量を考慮する必要があるのではないかという問題が



Curves are drawn per 1t. of P except Weight Curve.

Fig. 6.32 Weight, Acceleration, Load, Shearing Force & Bending Moment Curves

ある。水の見掛けの質量は流体を運動させるのにもエネルギーを要するという観点から考慮するのであるが、スラミングを受けたことによる船の運動速度は、スラミングの直後だけを考えるならば、極めて小さい、水の抵抗は速度の自乗に比例するから、これまた非常に小さい。従つて本節の計算においては水の付加質量は無視した。

#### 6・4・8 船首船底衝撃力

渡辺恵弘博士の論文<sup>2)</sup>において、平均衝撃圧力  $P_m$  は

$$P_m = \frac{\pi \rho}{2} z_0^2 \tan \beta$$

$$z_0 = \zeta + e\dot{\phi}$$

ただし  $\rho$ =水の密度

$\dot{\phi}$ =縦搖角速度

$\beta$ =船底と鉛直線のなす角  $e$ =重心と衝撃点の長さ方向の距離

$\zeta$ =上下動速度

で与えられる。これは  $\beta$  が  $90^\circ$  に近づいた場合、 $P_m$  が  $\infty$  に近づくのを避けるために、 $85^\circ$  以上では  $\tan \beta = \tan 85^\circ$  の値をとるというただし書がある点が異なるが、根本的には Von Kármán<sup>3)</sup> の式と全く等しい。

これまでの解析と合わせるため、実験番号 70 の 56.2'' 附近について解析を進める。上下動と縦揺の実測値は Fig. 6-33 に示すとおりである。この曲線の傾斜が速度を表わしている。上下動の速度は 55.6'' から 58.0'' まではほぼ一定で 1.2 m/sec を示し、縦揺の角速度は 55.0'' から 56.0'' までほぼ一定な 0.10 rad./sec (5.7 deg./sec) を示し、その後は小さくなっている。これらの値を使って  $\dot{z}_0$  の値を計算すると、F. P. からの距離 0.09 L ( $e=40.3$  m) では  $\dot{z}_0=5.2$  m/sec, 0.11 L ( $e=38.5$  m) では  $\dot{z}_0=5.1$  m/sec となつていて。

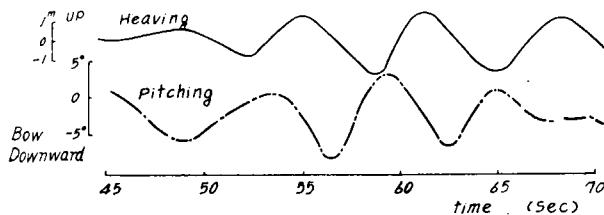


Fig. 6-33 Heaving, Pitching Measurement (Calculated from the Data of Accelerograph Measurement)

代表的な水圧計について、前記の式から  $P_m$  を計算し、実測値と比較すると Table 6-9 のようになる。

Table 6.9 Comparison between Calculated and Measured Values of Water Pressure

Water Pressure Gage No.	Distance from F. P.	Height from Base Line (m)	$\tan \beta$	$P_m$ (m Head)	Measuring Value* (m Head)
H 27	0.11 L	3.04	0.74	3.2	4.0
H 29	"	0.73	1.33	5.8	3.0
H 30	"	0.73	1.33	5.8	3.0
H 33	0.09 L	1.90	0.59	2.6	4.0
H 34	"	1.90	0.59	2.6	4.8
H 36	"	4.54	0.51	2.2	2.2

\* The end value of linear part of water pressure measurements were taken.

基線からかなり高いところにある水圧計 H 27, H 36 は比較的良く一致しているが、基線に近いものはあまり良く一致していない。基線近くには平板竜骨があり、V 型船底とは程遠いことが大きく影響していると思われる。

水圧の実測値を見ると、一度水面に出た後に水中に没入したものは、56.2'' より少し前、すなわち大体 55.9'' 位で直線部の最大値に達している。Wagner<sup>1)</sup>によれば、最大圧力は常に接水部に起ることが理論的に示されているので、水圧計のない場所において、丁度 56.2'' において水圧の直線的増加が最大になる位置がありうるのでないかと想像される。6.4.4 の水圧計測結果から、水圧計が空中から水中に入り、しかも水圧が直線的に増加しているものを、船底の水圧計と船側の水圧計について比較すると Fig. 6-34 が得られる。これから、船首船底が水面に出たのは F. P. から 0.11 L と 0.17 L の間であり、船側水圧計が水面に出て、しかも水圧が直線的に増加したものは 0.24 L より前である。

次に船底に加わったスラミング時の衝撃力を推定するのであるが、水圧計の位置、水圧の大きさか

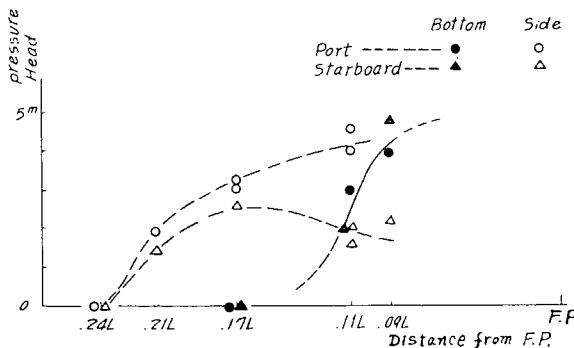


Fig. 6-34 Linearly Increased Water Pressure

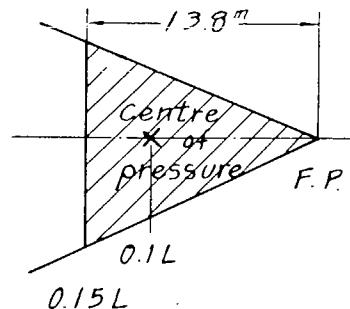


Fig. 6-35 Form of Stem Profile of Water Surface

ら、略近的に F. P. と  $0.15 L$  の間の  $2.0 W.L.$  以下の船体部に平均水圧水頭  $P_m = 4.0$  m が加わつたと仮定する。 $0.15 L$  におけるこの水線の幅は 5.4 m である。この水線以下の船体にかかる水圧はこの水線面に垂直に働く同じ圧力を均合う。Fig. 6-35 に示すように、この水線面の形を三角形とみなすと、これに加わる圧力の中心は F. P. から  $0.1 L$  のところにあり、その力  $P$  は  $149$  t となる。また仮に  $4.0$  m  $W.L.$  以下に  $P_m = 3.0$  m が加わつたとしても、 $P = 157$  t となる。

以上の考察から、実験番号 70 の  $56.2''$  の時刻に船首船底に加わつた衝撃力は約  $150$  t 位と推定される。

#### 6・4・9 スラミング時における船体加速度、応力実測値と計算値の比較

前節の結果から  $P = 150$  t と仮定して 6・4・7 の理論計算を行ない、実測値と比較する。船体の加速度について比較すると Table 6-10 が得られる。

Table 6-10 Comparison between Measured and Calculated Values of Acceleration

Position	Measured Value* (m/sec <sup>2</sup> )	Calculated Value* (m/sec <sup>2</sup> )
F. P.	2.0	1.52
A. P.	-0.4	-0.64

\* +: Up, -: Down

この表で見られるように、Order は大体合っている。A. P. の加速度の実測値が小さいのは船体を剛体として計算したが、実際は弾性体であるためと考えられる。

Table 6-11 Section Modulus

Measuring Position	Calculation (Up to Upper Deck)	Calculation considering up to Shelter Deck		
		$Z_T$ (cm <sup>2</sup> ·m)	$Z_T$ (cm <sup>2</sup> ·m)	$Y_T$ (m)
D 1	12.329	17.580	4.488	2.208
D 2	15.672	21.122	5.254	2.831
D 3	11.649	16.754	6.319	3.891
D 4	11.832	18.124	6.388	4.023
D 5	14.545	16.703	5.875	3.455
D 6	—	14.172	5.515	3.000

甲板応力を計算するために、甲板応力計測位置の船体の断面係数を求めるとき Table 6・11 に示すとおりである。

$P=150\text{t}$  として 6・4・7 の計算を行つて曲げモーメントを求め、これと前表の断面係数から遮浪甲板上の応力を求め、レバー修正を行うと D 1～D 6 の応力が計算できる。断面係数は波浪による応力との比較で遮浪甲板までを取る方が実際に近いと考えられるので、これを採用した。スラミング時の応力の計算値と実測値を比較すると Table 6・12 に示すようになる。

Table 6・12 Comparison between Calculated and Measured Values of Stresses when Slamming

Measuring Point	Bending Moment* (t-m)	Calculated Values† (kg/mm <sup>2</sup> )	Measured Values† (kg/mm <sup>2</sup> )
D 1	-220	-0.06	-0.1
D 2	-610	-0.16	-0.3
D 3	-1050	-0.39	-0.4
D 4	-1220	-0.43	-0.2
D 5	-1000	-0.35	-0.15
D 6	+240	+0.09	+0.05

\* +: Hogging, -: Sagging

† +: Tension, -: Compression

D 4 は本当はもう少し大きく出るはずであるが、波浪によるホギング-サギングの応力も低く出ており、感度が下つているように思われる。その他はオーダも傾向も割合に良く一致しているようである。

以上本節では加速度計測結果から、実験番号 70 の 56.2'' の時刻に受けたスラミングについて解析するのが適当と考え、これについて解析を進めた。

その結果、応力の計測結果はこの時刻から振動応力が始つていていることを示し、水圧の計測結果はこの時刻附近で船首船底、船側の水圧が直線的に増加していることを示していた。また船の動揺は、この時刻附近で船は右舷に傾ききつており、船首を最も深く突込んだ状態に近い。しかも船首の水位は左舷が高くなっていた。船首船底に受けた衝撃力は V 型船底の理論や実測値から大体 150 t と推定され、この力が F.P. から 0.1 L のところに集中して加わったと考え、船を剛体と考えて理論計算を行うとスラミング時の応力実測値と傾向、大きさとも良く一致した。

## 文 献

- 1) H. Wagner: Z. F. M. Bd. 22, 1 (1931)
- 2) 渡辺恵弘: 造船協会論文集 No. 93 (1953)
- 3) V. Kármán: N. A. C. A. T. N. 321 (1929)

## 6・5 波浪による船体応力

航走中船体は波浪によつて動的なサギング及びホギングモーメントをうけ曲げ応力を生ずるが、本節では銀河丸実験結果についてこの曲げ応力と波長、波高及び船速との関係について考察を行つた。

Table 6-13 Wave Length, Wave Height, Ship Speed and Stress Measurement at Deck

Exp. No.	Wave Length $L_w$ (m)	Angle of Encounter (°)	Wave Length of Encounter $L_{we}$ (m)	Wave Height $H_w$ (m)	$L_{we}/H_w$	Speed by Sea (kt)	Double Amplitude of Oscillating Stress	
							Max. (kg/mm²)	Mean (kg/mm²)
32	55	0	55	1.2	46	10.8	6.71	0.35
33	"	45	78	"	65	11.9	0.55	0.30
34	"	"	"	"	"	10.5	0.63	0.35
35	"	180	55	"	46	12.5	1.10	0.51
36	"	"	"	"	"	11.0	0.79	0.36
37	"	45	78	"	65	9.7	0.33	0.20
38	"	0	55	"	46	8.2	0.79	0.20
39	"	45	78	"	65	8.6	0.71	0.20
40	"	"	"	"	65	7.2	0.71	0.21
41	"	0	55	"	46	6.8	0.79	0.31
42	45	45	64	2.3	28	6.7	0.55	0.30
43	"	180	45	"	20	7.2	0.47	0.32
44	"	"	"	"	20	6.6	0.79	0.44
45	"	20	48	"	21	3.2	0.55	0.30
46	"	0	45	"	20	2.2	0.55	0.29
47	"	15	47	"	"	3.1	0.87	0.34
48	—	0	—	"	—	10.5	1.03	0.47
49	46	"	46	1.6	29	12.0	0.71	0.32
50	"	45	65	"	41	11.8	0.63	0.30
51	"	"	"	"	"	11.3	0.79	0.34
52	"	0	46	"	29	11.5	0.95	0.35
53	"	"	"	"	"	10.5	0.79	0.31
54	40	45	57	"	32	9.5	0.71	0.30
55	"	"	"	"	"	9.0	0.32	0.31
56	"	"	"	"	"	9.0	0.24	0.28
57	"	0	40	"	22	8.3	0.87	0.35
58	"	45	57	"	32	7.8	1.03	0.35
59	"	"	"	"	"	5.8	0.95	0.32
60	"	0	40	"	22	4.8	0.63	0.30
61	"	45	57	"	32	4.5	0.71	0.31
62	32	"	45	2.0	37	5.8	1.42	0.46
63	"	0	32	"	27	2.6	1.90	0.60
64	47	25	52	"	26	3.7	1.90	0.67
65	"	165	49	"	25	12.0	1.19	0.60
66	"	180	47	"	24	10.3	1.98	0.70
67	47	45	67	1.5	45	1.8	1.42	0.49
68	47	0	47	1.5	31	1.5	1.19	0.44
69	45	60	90	2.3	39	1.9	1.90	0.68
70	"	30	64	"	23	6.1	2.37	"
71	51	15	53	3.3	17	2.9	"	0.77
72	"	60	102	"	32	4.2	1.03	0.54
73	42	0	42	2.0	21	6.9	"	0.53
74	"	"	"	"	"	6.6	1.42	0.59
75	"	45	59	"	30	5.7	1.26	0.43
76	"	"	"	"	"	"	0.55	—

Table 6·13 Wave Length, Wave Height, Ship Speed and Stress Measurement at Deck

Exp. No.	Wave Length $L_w$ (m)	Angle of Encounter (°)	Wave Length of Encounter $L_{we}$ (m)	Wave Height $H_w$ (m)	$L_{we}/H_w$	Speed by Sea (kt)	Double Amplitude of Oscillating Stress	
							Max. (kg/mm²)	Mean (kg/mm²)
77	37	45	52	1.8	29		0.87	—
78	"	0	37	"	20	4.4	1.03	0.58
79	"	45	52	"	29	3.8	1.74	—
80	53	"	75	2.0	38	5.7	1.98	—
81	"	0	53	"	27	7.9	1.19	0.56
82	"	45	75	"	38	10.7	1.11	0.39
84	35	"	50	2.1	24	12.0	0.24	0.30
85	49	0	49	1.4	35	10.2	0.47	0.28
86	"	"	"	"	"	10.7	0.71	0.31
90	37	"	37	2.0	37	9.0	1.19	0.54
91	"	45	52	"	52	10.0	0.79	0.39
92	"	"	"	"	"	11.0	0.87	0.46
93	52	0	"	"	26	10.5	1.42	0.56
94	"	45	74	"	37	11.2	0.79	0.35
95	"	0	52	"	26	10.7	0.71	0.47
96	38	45	54	1.3	42	11.3	1.19	0.37
97	"	Left turn	—	"	—	—	0.87	0.36
98	"	Right turn	—	"	—	—	"	0.43
99	60	Right turn	—	2.6	—	—	—	—
100	"	23	65	"	25	5.3	1.58	0.50
101	"	"	"	"	"	"	0.87	0.42
102	"	"	"	"	"	"	1.26	0.55
103	39	45	55	2.1	26	7.5	—	—
104	"	"	"	"	"	7.3	—	—
105	"	"	"	"	"	7.0	1.19	0.56
106	41	0	41	"	20	6.0	1.26	0.43
107	"	45	58	"	28	8.0	—	—
108	53	45	75	1.6	47	6.0	—	—
109	"	0	53	"	33	4.5	—	—
110	"	45	75	"	47	5.0	1.19	—
111	47	0	47	2.8	17	3.5	1.42	0.63
112	"	40	61	"	24	6.0	1.11	0.43
113	31	"	41	"	15	"	0.63	0.50
114	"	"	"	"	"	7.0	1.58	0.79
115	"	0	31	"	11	3.5	"	0.61
116	"	40	41	"	15	6.5	1.26	0.52
118	"	"	40	1.6	29	"	—	—
119	45	0	45	4.5	10	4.6	1.34	0.75
120	46	10	47	2.6	18	5.2	1.90	0.57
121	"	45	66	"	26	6.9	1.26	0.35
122	"	"	"	"	"	7.2	1.50	0.52
123	50	0	50	2.2	23	11.5	0.97	0.35

### 6・5・1 波浪および船体応力

波長および波高の測定は、水位計の記録から波の形を求めて推定した。本実験は冬期三陸沖の海域で行つたので、海象状況は低気圧の急速な発達に伴つて風力は相当強烈であつたが、風力の持続時間が短いので波は完全に成長せずに比較的波長が短かつた。

したがつて波長、波高の正確な計測はむずかしく、測定値としては数回の記録の平均値をとつた。

実験海域別における波高、波長等の記録を応力の測定値と共に Table 6・13 に示す。

船体応力の測定は出港時を基準としてとつたので、計器やゲージ等に起因するいわゆる零点の移動量が記録に含まれ、したがつて測定値はホギングとサギングとの差、すなわち応力の全振幅をとつて解析を行つた。以下 1 回の測定における応力の全振幅の最大値を最大応力、平均値を平均応力と称することとする。

### 6・5・2 波高、波長と最大応力との関係

波高と甲板上で計測した最大応力 (D-3) との関係を波長別に求めると Fig. 6・36 のごとくなる。

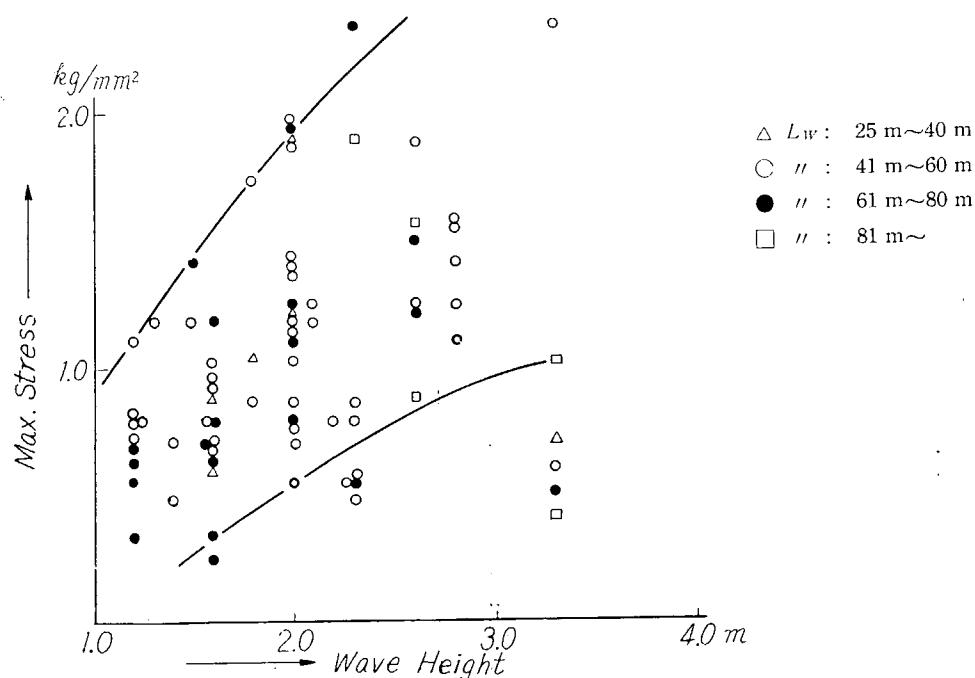


Fig. 6・36 Relation between Wave Height and Max. Stress on Deck

この結果によれば、波高の増加に対して甲板応力はかなり増加する傾向を示す。同一波高でも最大応力を示すときの船体と波の相対位置が異なり、また前述のように不規則波中では前後の波の影響があるので最大応力に相当の差が見られる。

なお波長が船の長さに比してかなり短いことと、前後の波の影響があつて波長と最大応力との関係を求めることは困難であるため、波長の変化による最大応力の変化はほとんど認められなかつた。

さらに、波長、波高と平均応力との関係も求めたが、平均応力に関しても最大応力と同じような傾向を示す (Fig. 6・37)。

平均応力とは測定した全振巾の単純平均値をとつたものである。

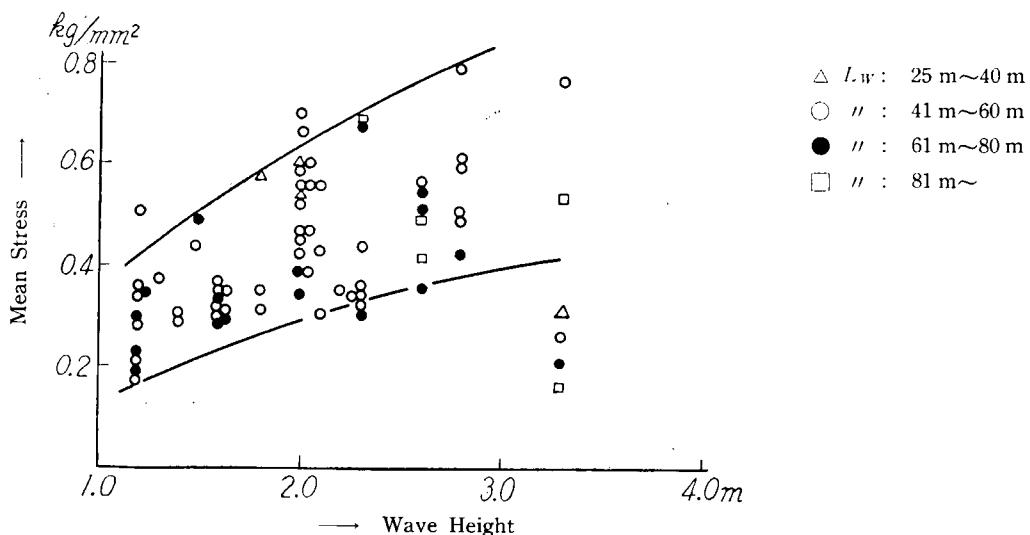


Fig. 6-37 Relation between Wave Height and Mean Stress on Deck

### 6・5・3 船速と最大応力との関係

船速の影響によってホギングまたはサギング応力が増加するのは、波長が船の長さに等しい場合において  $V/\sqrt{L} = 1.0$  ( $V$ : knot,  $L$ : m) 以上と思われるが、本船の場合最高速度で  $V/\sqrt{L} = 1.2$  程度で、特に荒天時には減速するため船速の影響はないものと考えられるが、一応船速の変化に対して最大応力を置点した (Fig. 6-38)。この結果は、応力の増加は波高の増加によって最も影響を受ける

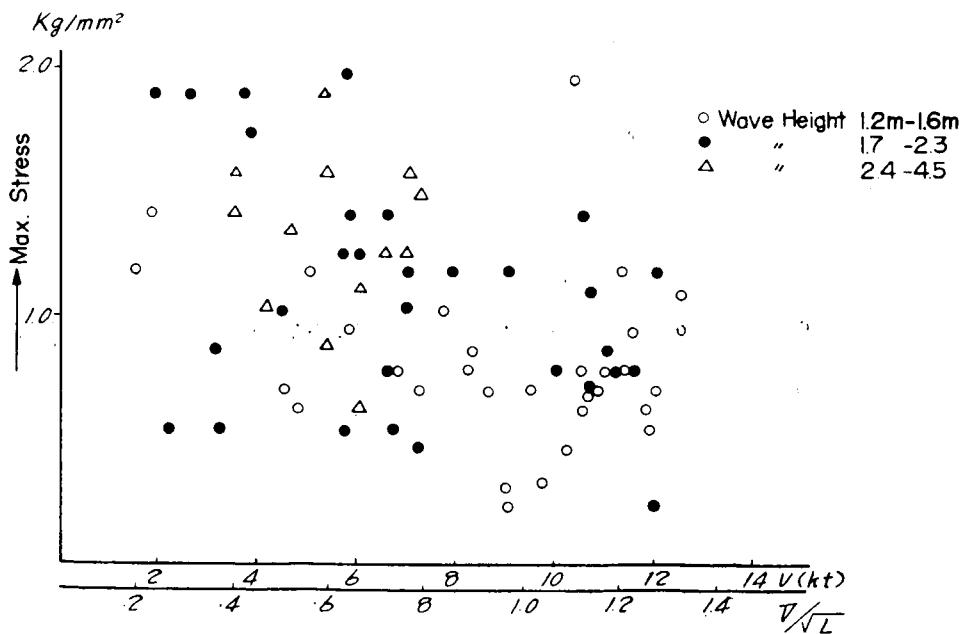


Fig. 6-38 Relation between Ship Speed and Max. Stress

ので、本船のように波が高い場合に速度が急激に減少する場合は波高の影響のみ現われて速度との関係は求められない。

#### 6・5・4 船体応力測定例

Fig. 6・39 および Fig. 6・40 に波浪中における甲板上および中央断面での応力分布の数例を示す。本実験を通じて船体の受けた曲げ応力は極めて小さく、ここにはこれらのうちで最大と思われる代表的な例について示した。

なお、応力分布の理論値との比較については次節で述べる。

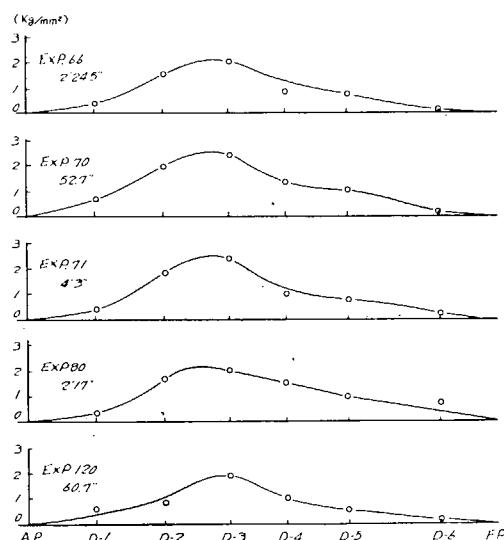


Fig. 6-39 Stress Distribution on Deck

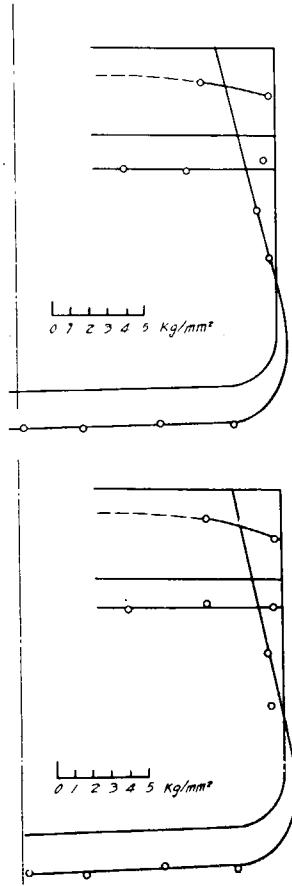


Fig. 6-40 Stress Distribution in Section

以上を要約すれば、

- (1) 波浪によつてうける船体応力は、測定した応力の最大値および平均値の何れも波高の増加によつてかなり増加し波長の影響はほとんどない。
- (2) 船速の変化と船体応力との関係は、速度が極めておそかつたことにもよるが、本実験の測定範囲ではその影響はなかつた。

## 6・6 強度計算

波浪中を航行する船体に生ずる曲げ応力値については、すでに第1章沿革でも述べたように、古来数多くの実測値が報告されているが、これらの値はいずれも例外なく、いわゆる標準計算値よりもかなり低い値を示している。これは船体の断面係数を計算する場合に普通採用されている縦通要素のほかにも実際には縦強度に寄与している要素があることも原因の一つと考えられるが、船が波浪中を航行しているために生ずる船体の慣性力、および船体が波浪から受ける浮力が静的の場合とは異なること等のいわゆる動的影響 (Dynamical Effect) が大きな原因である。

今回行った“銀河丸”実船試験ではこの縦強度計算に及ぼす動的影響を解明するために、前述したように船体には船首、中央、船尾の3箇所に加速度計を設置し、縦搖、上下動による船体加速度を測定すると同時に、船体に36箇の水圧計を取り付け船体が受ける水圧分布を求め、これから有効浮力を算定することにした。なお今回は解析時間の都合上、特に実験番号70および71について計算を行つた。

### 6・6・1 銀河丸の重量曲線および断面係数 $I/y$

実験番号70および71は昭和31年1月23日に行われたものであるが、当日の銀河丸の重量曲線を次のとくにして求めた。

すなわち、本船の軽荷重量は2,240tで、その内訳はTable 6・14に示すとおりである。これらの重量のうち船殻および舾装重量1,836.2tをBilesの方法に従つて、A.P.からF.P.の間の基線上に梯形分布せしめ、この上に主機、補機等の残りの重量403.8tをそれぞれの位置に対応して船の長さ方向に一様に積み重ね、軽荷重量に対応する重量曲線をFig. 6・41中の点線のごとく求めた。次にこの曲線上に1月23日におけるバラストタンク内の水、油等の重量をそれぞれの位置に応じて

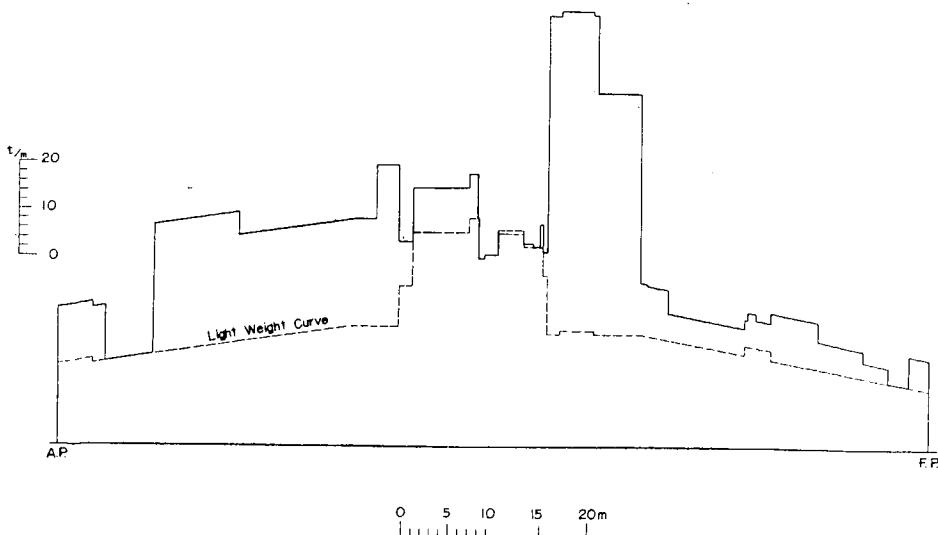


Fig. 6-41 Weight Curve

船長にそつて一様分布せしめ最終的な重量曲線を求めたのであるが、その消費物の附加重量算出の詳細は Table 6・15 に示してある。Fig. 6・41 は 1 月 23 日の銀河丸重量曲線を示したものであり、以下の解析にはすべてこの重量曲線によることにした。

Table 6・14 Weight Table (Ginga Maru)

Hull Steel	1281t	1836.2 t
Hull Wood	80	
Fitting	475.2	
Main Engine	79	
Shaft & Propeller	53	
Auxiliary Machinery	24	
Boiler	30	
Funnel & Uptake	18	
Piping	38	
Water & Oil in Engine Room	68	403.8 t
Generator	16.4	
Electrical Apparatus	6.6	
Steering Engine	4.1	
Refrigerator	1.2	
Windlass Machine	8.5	
Others	57	
Light Weight		2240 t

Table 6・15 Calculation of Consumable Weight

20. Jan. 56 (Clearance Yokohama):	
	$d_a = 5.5 \text{ m}$ , $d_f = 3.9 \text{ m}$ , $\Delta = 3,904 \text{ t}$
20. Jan.~22. Jan. Consumption of	
Oil and Water (by Sounding Table)	
Oil	-17.4 t
Water	-25.0 t
	Total -42.4 t
23. Jan. Displacement	
	$\Delta = 3,904 \text{ t} - 42.4 \text{ t} = 3,861.6 \text{ t}$
Light Weight	2,240.0 t
Tank	968.3 t (by Sound- ing Table)
Oil*	578.3 t
Detail	Weight in Hold 15.0 t
	Crew & Property 20.0 t (Uniformly Distributed)
	Supplies and Food 40.0 t ("")
*Oil 578.3 t Detail	No. 1 D.T. 208.7 t No. 2 D.T. 338.9 t No. 3 F.O.T. 30.7 t

次に強度計算を行うに必要な断面係数  $I/y$  の値を船長にそつて 7 断面（うち 6 断面は甲板応力測定点と同一断面）について計算した。

本船の遮浪甲板は全通しているので  $I/y$  の計算に算入したが、遮浪甲板と上甲板の間に船側外板のない箇所は上甲板までのものも算定した。なお本計算には木甲板は算入しなかつた。計算結果を表示したものが Table 6・16 である。またこれらを図示すると Fig. 6・42 および Fig. 6・43 が得られる。

Table 6・16 Calculated Values of Section Modulus

Fr. No. F. C.	Without Shelter Deck					With Shelter Deck				
	$I$ ( $\text{m}^4$ )	$y_B$ (m)	$y_T$ (m)	$z_B$ ( $\text{cm}^2\text{-m}$ )	$z_T$ ( $\text{cm}^2\text{-m}$ )	$I$ ( $\text{m}^4$ )	$y_B$ (m)	$y_T$ (m)	$z_B$ ( $\text{cm}^2\text{-m}$ )	$z_T$ ( $\text{cm}^2\text{-m}$ )
25 ~ 21 (D 1)	4.261	4.359	3.456	9,775	12,329	7.829	5.607	4.488	14,076	17,580
37 ~ 38 (D 2)	6.163	3.611	3.933	17,070	15,672	11.097	4.713	5.254	23,545	21,122
54 ~ 55 (D 3)	5.697	2.494	4.891	22,840	11,649	10.587	3.487	6.319	30,362	16,754
68 ~ 69 (D 4)	5.806	2.503	4.907	23,197	11,832	11.578	3.397	6.388	34,082	18,124
84 ~ 85 (D 5)	6.163	3.353	4.237	18,380	14,545	9.816	4.140	5.875	23,710	16,708
109 ~ 110 (D 6)						8.970	5.105	5.330	17,571	16,830
						7.816	5.295	5.515	14,861	14,172

$I$ : Moment of Inertia

$$z_B = I/y_B$$

$y_B$ : Distance from N. A. to Ship Bottom

$$z_T = I/y_T$$

$y_T$ : Distance from N. A. to Deck

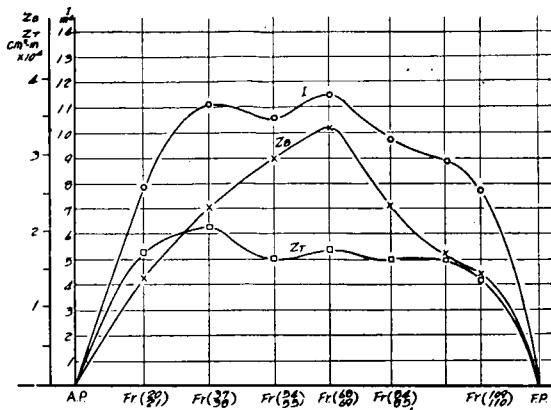


Fig. 6-42  $I$ ,  $z_B$ ,  $z_T$  Curves (with Shelter Deck)

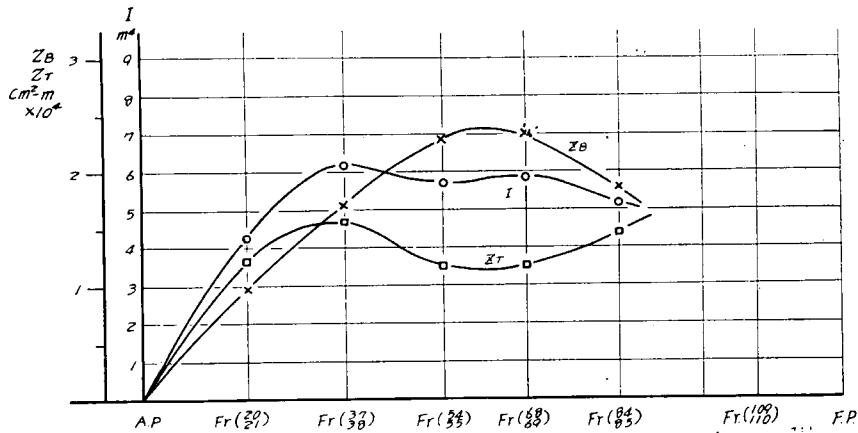


Fig. 6-43  $I$ ,  $z_B$ ,  $z_T$  Curves (without Shelter Deck)

### 6・6・2 標準縦強度計算

まず、前節で示したごとき重量分布を有する状態（実験番号 70, 71）について静水中、および  $H_w/L_w$  (波高/波長)=1/20 のトロコイド波中におけるホギングおよびサギング状態について縦強度計算を行つた。すなわち、Fig. 6-44 は静水中における計算結果、Fig. 6-45 は  $H_w/L_w=1/20$  のサギング状態、同じく Fig. 6-46 はホギング状態を示したものである\*。これらによると最大曲げモーメントは静水中で 5,750 t-m, サギング状態では 3,000 t-m, また ホギング状態では 12,150 t-m である。

船体断面係数  $I/y$  の値として Fig. 6-42 に示した遮浪甲板までの値をとつて曲げモーメント曲線から甲板上の曲げ応力分布を求めたものが、それぞれ Fig. 6-47, Fig. 6-48 および Fig. 6-49 である。図によると最大曲げ応力は遮浪甲板上で静水中で  $3.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $H_w/L_w=1/20$  のサギング状態では  $1.0 \text{ kg/mm}$ , ホギング状態では  $7.1 \text{ kg/mm}^2$  であり、ホギングとサギング状態との最大応力振幅（全振幅）は  $8.1 \text{ kg/mm}^2$  である。一方、実験番号 70 および 71 での最大応力は測定点 D-3 に生じてその全振幅はそれぞれ  $2.4 \text{ kg/mm}^2$  および  $2.2 \text{ kg/mm}^2$  であり、上述の計算値  $8.1 \text{ kg/mm}^2$  に比して

\* Smith の補正は行つていない。

かなり低い値である。この相違は実際の波浪が  $H_w/L_w=1/20$  のトロコイド波と著しく相違していることにもよるが、前述した船体運動による動的影響によるものである。

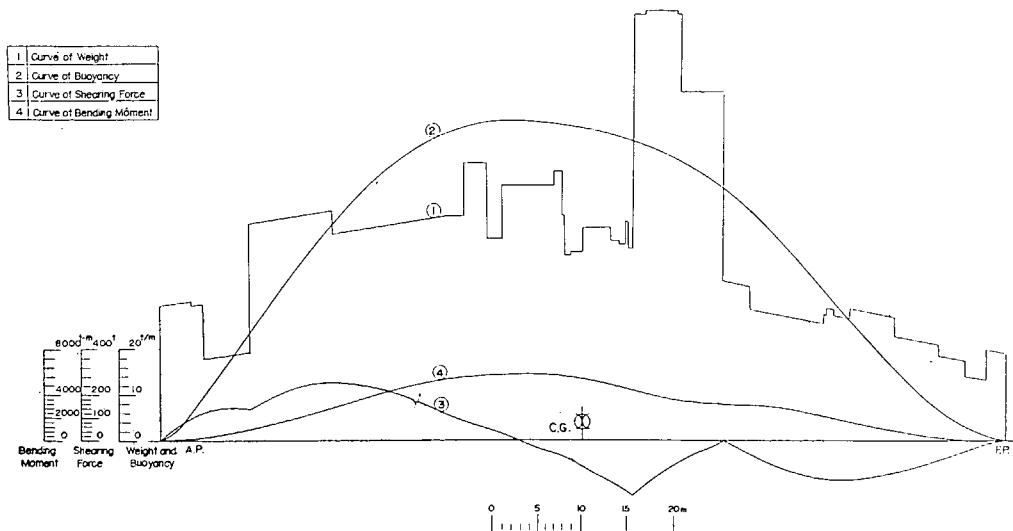


Fig. 6-44 Standard Longitudinal Strength Calculation (Still Water)

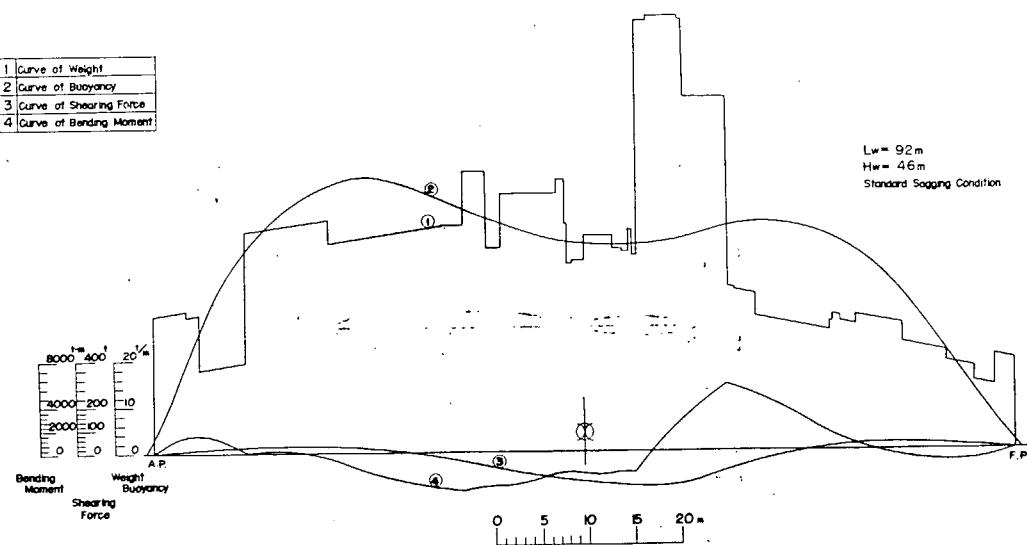


Fig. 6-45 Standard Longitudinal Strength Calculation (Sagging Condition)

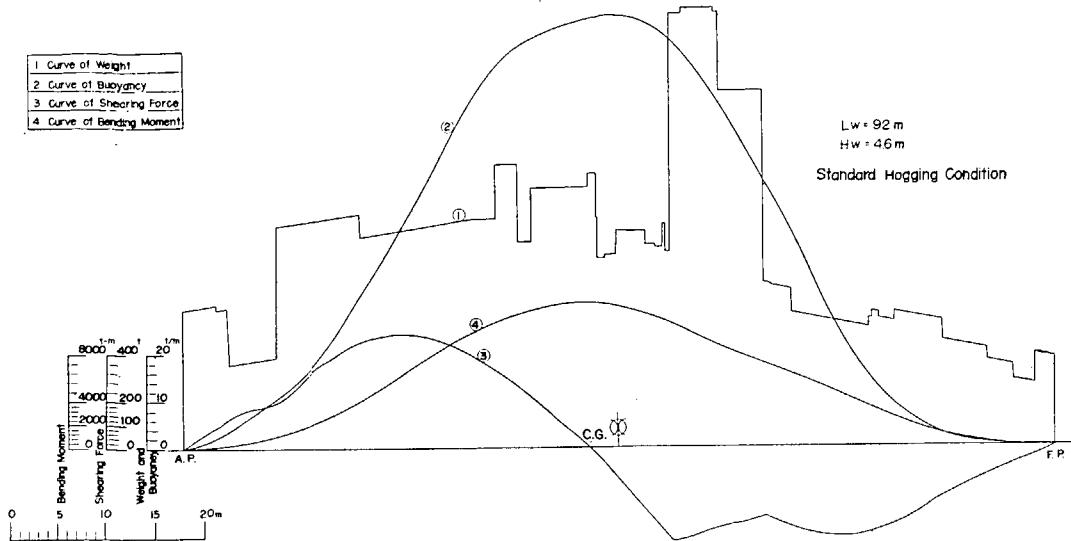


Fig. 6.46 Standard Longitudinal Strength Calculation (Hogging Condition)

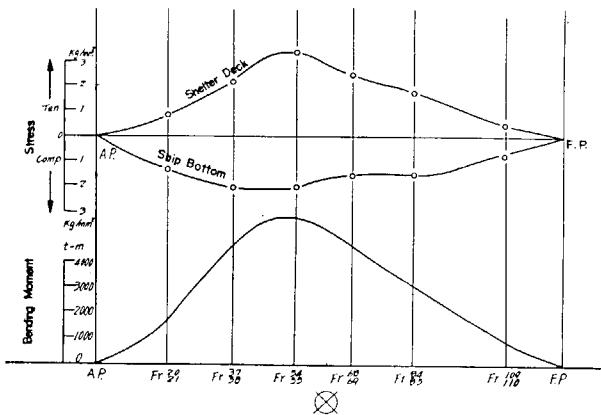


Fig. 6.47 Standard Longitudinal Strength Calculation (Still Water)

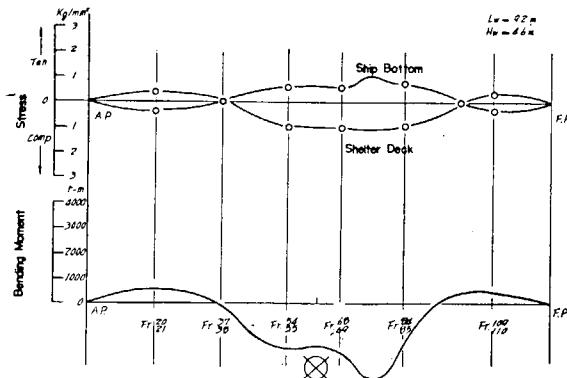


Fig. 6.48 Standard Longitudinal Strength Calculation (Sagging Condition)

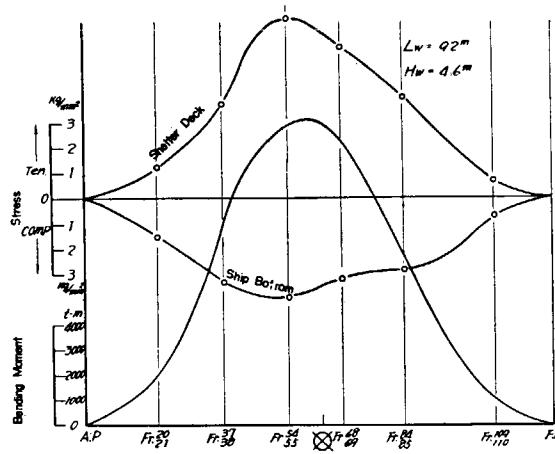


Fig. 6.49 Standard Longitudinal Strength Calculation (Hogging Condition)

### 6・6・3 船体の動的縦強度計算

波浪中を航海する船体の縦強度計算には、普通われわれが取扱つている静的計算では不充分であることは明かであり、船体の上下動および縦揺の影響および船体が波浪により受ける有効浮力等を考慮しなければならない。計算は実験番号 70 の測定時刻 54''～57'' の差、および実験番号 71 の測定時刻 83''～86'' の差について行つたが、その計算法を実験番号 70 について以下に述べることにする (Fig. 6.50 参照)。

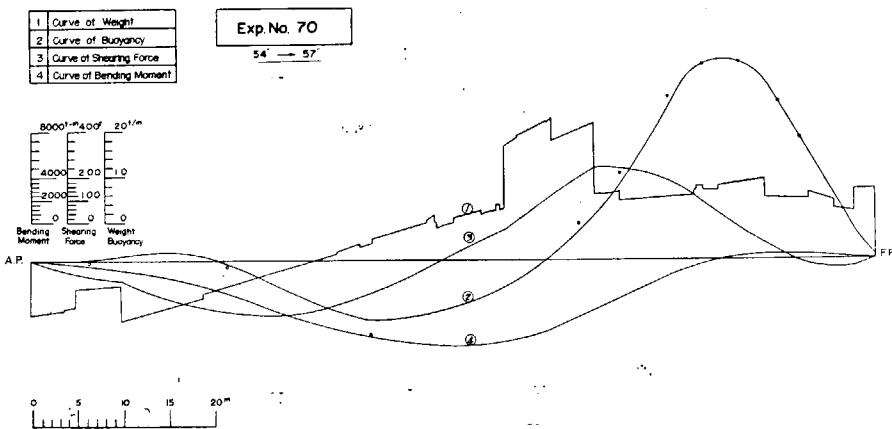


Fig. 6.50 Longitudinal Strength Calculation

- まず、Fig. 5.6 に示した加速度による記録例から 54'' と 57'' における船長に沿う各点における上下動および縦揺による船体加速度を求める。
- 船長に沿う各点における加速度の変化量を求め、この値に対応する位置の重量曲線の値を乗じて Fig. 6.50 に示した重量曲線①を求める。
- 船底中心線附近に設置した水面下における水圧計の示す水圧変化と、対応する断面における水位の変化との関係を求めると Fig. 6.51 が得られる。図によると水位上昇時と水位下降時について

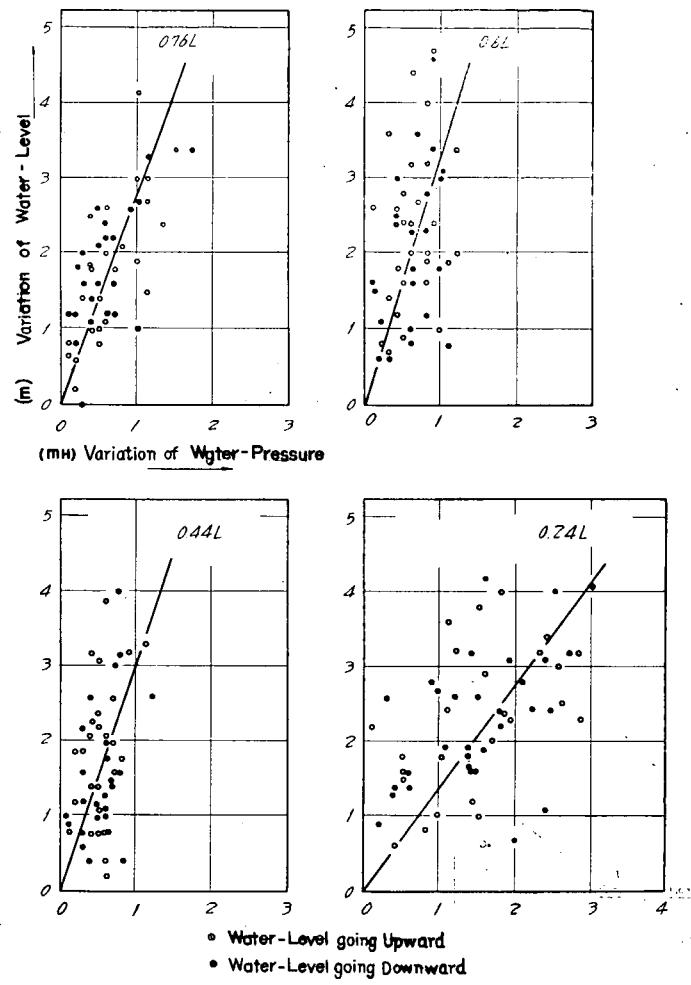


Fig. 6.51 Relation between the Variations of Water Level and Water Pressure at Ship Bottom

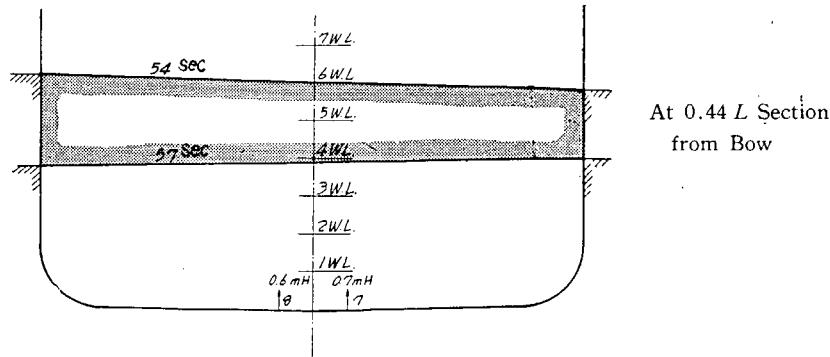


Fig. 6.52 Water Pressure Distribution in Transverse Section

て明確な差はなく、かつ点のばらつきは相当にあるが、各断面における水位変化に対する水圧変化量を求めるに、既に 6・3 にも述べたごとく船体中央部ではその変化量の値は小さく、船首、船尾に近づくにつれてその値は大となることがわかる。Fig. 6・51 から求めた水位変化量に対する水圧変化量の平均値を以つて、各水圧計設置箇所で船体が受ける水圧変化量であるとし、Fig. 6・52 に示すように 54''～57'' 間の浮力変化を求めた。

d) 船首附近で水面上に露出した部分では水圧計より水圧絶対値が求められるので、有効浮力は Fig. 6・53 のごとくにして求めることができる。Fig. 6・50 の浮力曲線のうち ○ 点はこのようにして求められた各断面位置における有効浮力変化の値である。これらの点のうち、船首部附近の絶対値の明らかな部分についてはこれらの点を結び、他の点については、なるべく近い所をとおるようにして浮力変化曲線②を求め、剪断力変化量曲線③、曲げモーメント変化量曲線④が船の船首尾端で閉じるようにした。

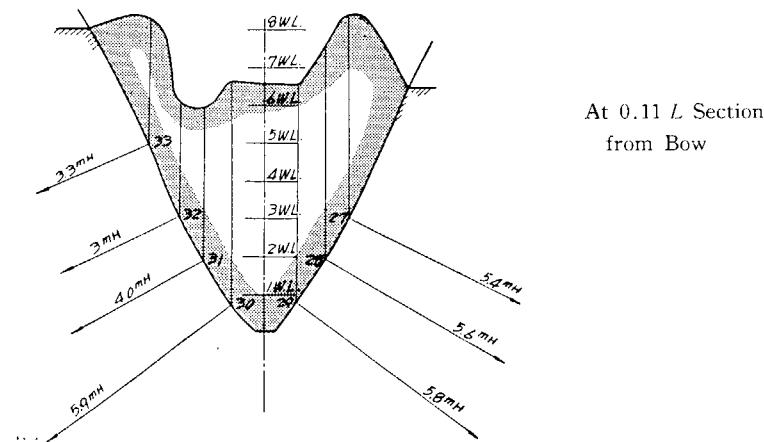


Fig. 6・53 Water Pressure Distribution in Transverse Section

e) かくして得られた曲げモーメント曲線から、遮浪甲板まで含めた船の断面係数  $I/yr$  (7 断面について前述した値) で割つて上甲板の船長に沿つての曲げ応力分布を求めることができる。

以上のようにして求めた上甲板における曲げ応力分布と実測値を比較したものが Fig. 6・54 である。

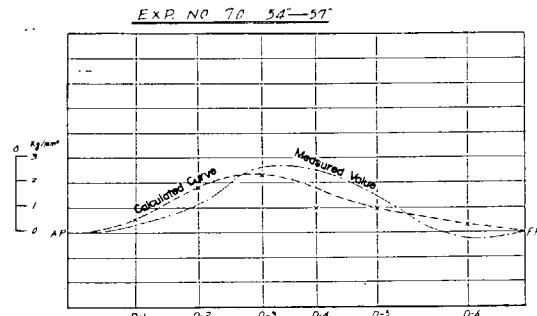


Fig. 6・54 Stress Distribution on Upper Deck

る。図によると船首尾部において両者の傾向はやや異なつてゐるが、中央部附近の応力変化の最大値は約  $2.5 \text{ kg/mm}^2$  で、比較的よく一致している。

Fig. 6-55 は測定点 D-4 を含む船体横断面の応力分布の測定値と計算値を比較したものである。図の測定値分布によれば梁理論に従うものとしての計算が正当なものであることを示しており、かつ船底における応力値は計算値とよく一致しているが、甲板および船側では計算の方がやや大きな値を示している。

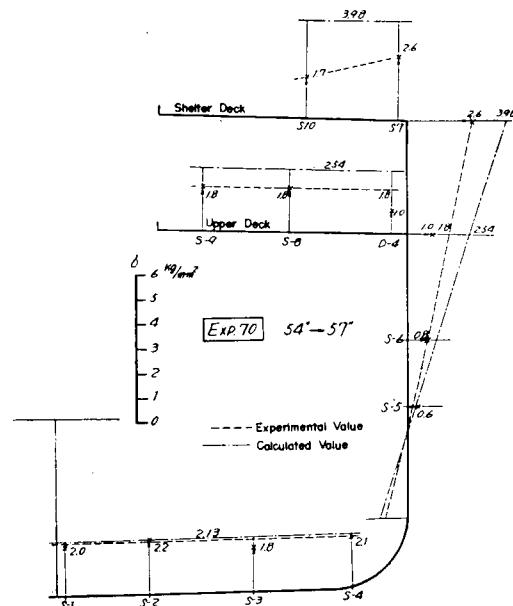


Fig. 6.55 Stress Distribution in Transverse Section

全く同様にして実験番号 71 の測定時刻 83''～86'' の変化分に対する計算結果を Fig. 6-56, 6-57 および 6-58 に示してある。この場合には測定値と計算値とは比較的よく一致していることがわかる。

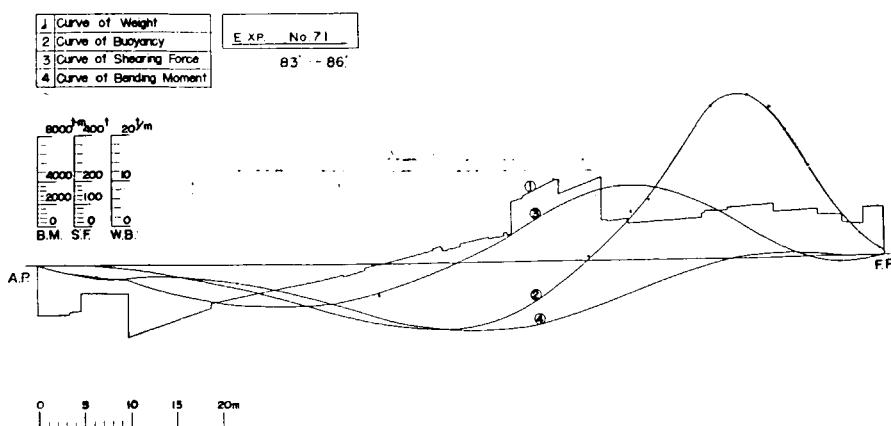


Fig. 6-56 Longitudinal Strength Calculation

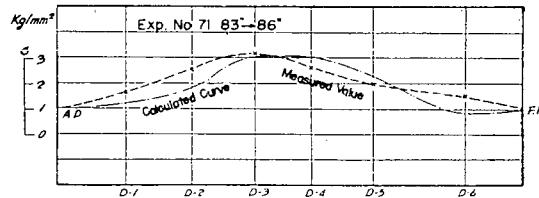


Fig. 6-57 Stress Distribution on Upper Deck

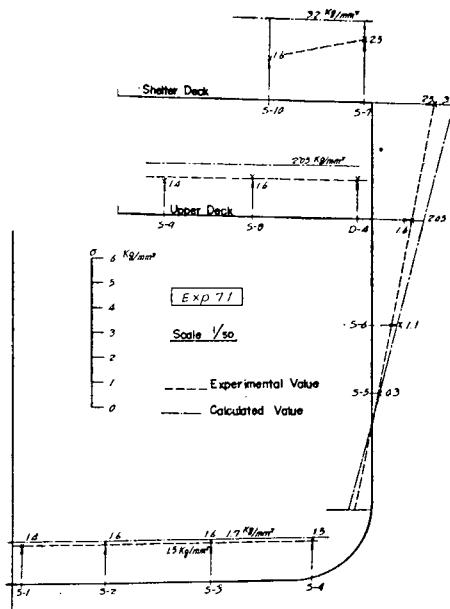


Fig. 6-58 Stress Distribution in Transverse Section

以上航行中船体が受ける曲げ応力について、船体の運動による加速度の影響及び動的影響による有効浮力を考慮して計算したところ、計算と実測とはかなりの程度の一致を示した。しかし、今回の測定では水圧計の読みに基線の移動が含まれ、水圧の絶対値、従つて有効浮力の絶対値が不明確となつたので、止むを得ず慣性力、浮力、曲げモーメント、応力の変化量について計算を行つた。有効浮力については規則波中における模型実験結果を解析することによつてかなり定量的に明かになるものと思われるが、目下この点について検討中である。なお、不規則波中の理論的解析をも行い、実測値と比較することは重要なことであるが、時間的余裕がなかつたので今回は行わなかつた。

## 6・7 船首部局部応力

銀河丸実験結果得られた水圧計記録から外力を推定し、船首部の船側外板及び肋骨応力について計算を行つた。

### 6・7・1 外板応力の解析

#### 6・7・1・1 外板応力の計算

船側外板は肋骨間で支えられた一様な圧力を受けるパネルとした場合、周辺の支持条件については

i) 四辺支持

ii) 肋骨支持, 第二甲板, 二重底固定

iii) 四辺固定

の3種の境界条件が考えられるが,  $a/b$  が充分大きいので i) と

ii) は同一に扱うことが出来る。

a) 四辺支持, 肋骨支持他辺固定の場合

$$\sigma_{\max.} = 5.46 K P (b/t)^2$$

b 辺方向の最大応力は

$$K = 0.1374 \text{ (from Schade's curve)} \quad P = 1.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ で}$$

$$\sigma_{b \max.} = 24.6 \text{ kg/mm}^2.$$

a 辺方向の最大応力は  $K = 0.0412$  (from Schade's curve)  $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$  で

$$\sigma_{a \max.} = 7.4 \text{ kg/mm}^2$$

b) 四辺固定の場合

$$\sigma_{\max.} = 5.46 K P (b/t)^2$$

$$K_b = 0.0458, \quad K_a = 0.0137 \text{ (from Schade's curve)}$$

$$P = 1.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ に対して}$$

$$\sigma_{b \max.} = 8.26 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{a \max.} = 2.47 \text{ kg/mm}^2$$

c) 肋骨の faying flange を考慮した場合

本船は鉛接船であるため, 肋骨には faying flange を持つている。肋骨は  $200 \times 90 \times 10$  B. A. で faying flange は 90 mm である。この faying flange の影響を考えると有効なパネルの幅  $b'$  は肋骨心距より小さくなる。いま a) b) に対して faying flange 90 mm をパネルの幅  $b$  から除くと,

$$b = 670 \text{ mm}$$

$$b' = 670 - 90 = 580 \text{ mm}, \quad t = 11.7 \text{ mm}$$

$$\therefore \sigma'/\sigma = (b'/t)^2 / (b/t)^2 = 0.75$$

$a/b$  により  $K$  も変化するが,  $a/b$  が充分大きい範囲では  $K$  が変化しないので, faying flange をパネル幅  $b$  から除けば応力は 75% に減少する。

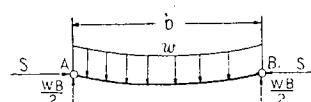
d) 板の撓みを考慮した無限長の矩形板として取扱った場合

板の撓みによる張力を考慮した場合の応力を Timoshenko の方法で検討してみる。

撓みが大きいために生ずる張力を板の単位巾に対して  $S$  とする。

$S$  による応力を  $\sigma_1$ , 曲げによるものを  $\sigma_2$  とすれば

$$\sigma_{\max.} = \sigma_1 + \sigma_2$$



肋骨位置を支持端とすると

$$\sigma_1 = S/t = \frac{E u^2}{3(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2$$

$$\sigma_2 = \frac{6}{t^2} M_{\max} = \frac{3}{4} w \left( \frac{b}{t} \right)^2 \psi_0(u)$$

肋骨で固定端とすると

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{E u^2}{3(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2 + \frac{w}{2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \psi_1(u)$$

ここに  $u$  は、板の曲げ剛性  $D = Et^3/12(1-\nu^2)$  とすれば

$$u^2 = \frac{Sb^2}{4D}$$

で  $\psi_0(u), \psi_1(u)$  はそれぞれ、

$$\text{支持: } \sqrt{U_0} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{t^4}{wb^4}$$

$$\text{固定: } \sqrt{U_1} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{t^4}{wb^4}$$

であたえられる  $U_0, U_1$  の値 ( $u$  の函数) から求まる。

これらの方針によつて得られた荷重-応力の関係を Fig. 6·59 および Fig. 6·60 に示す。

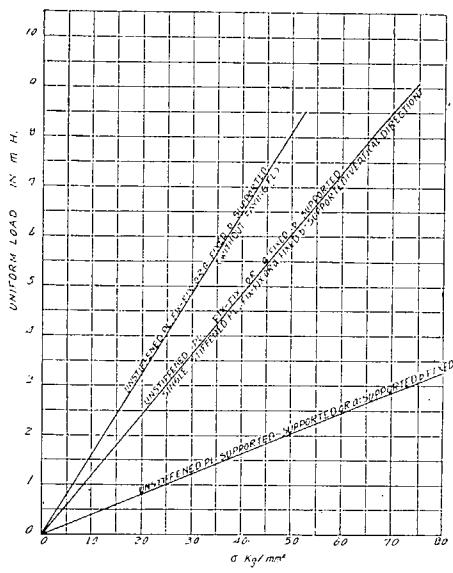


Fig. 6·59 Maximum Stress produced in Uniformly Loaded Plate (by Schade)

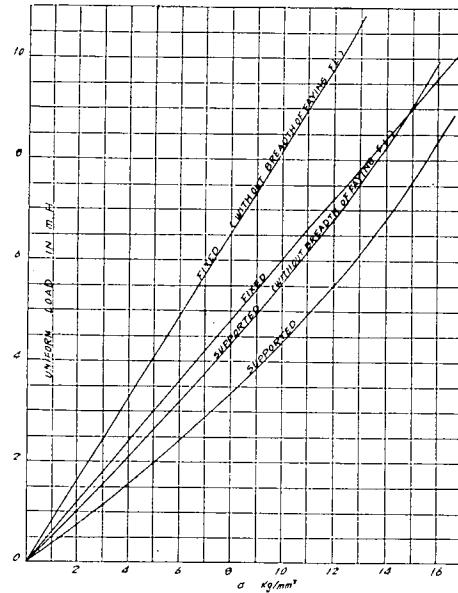


Fig. 6·60 Maximum Stress produced in Uniformly Loaded Plate (By Timoshenko)

### 6·7·1·2 実測値との比較

以上の解析と測定値の比較を行う。各測定点の配置は Fig. 6·61 に示す。

Schade 式による計算値は均一荷重に対するものであり、パネルに加わる水圧は水圧計記録 Fig. 6·62 に示すように一つのパネルにつき必ずしも一様でないが板幅方向に対しては均一とみなしうる。かつ、板は短辺支持の帯板として取扱えるから、板全体の荷重分布より測定点における荷重に支配されることが考えられる。

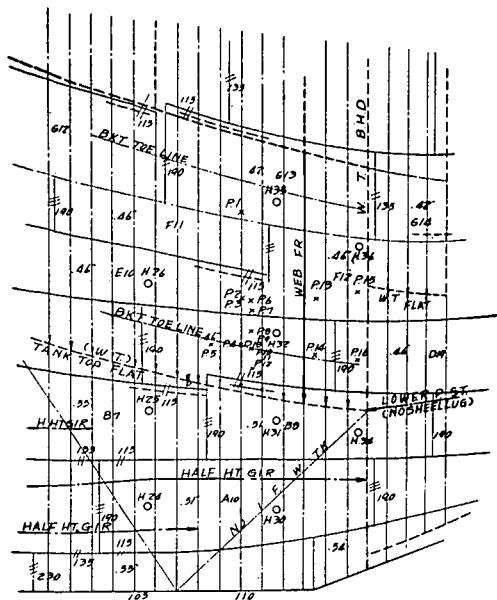


Fig. 6-61 Shell Expansion Plan of Bow [and Arrangement of Measuring Points]

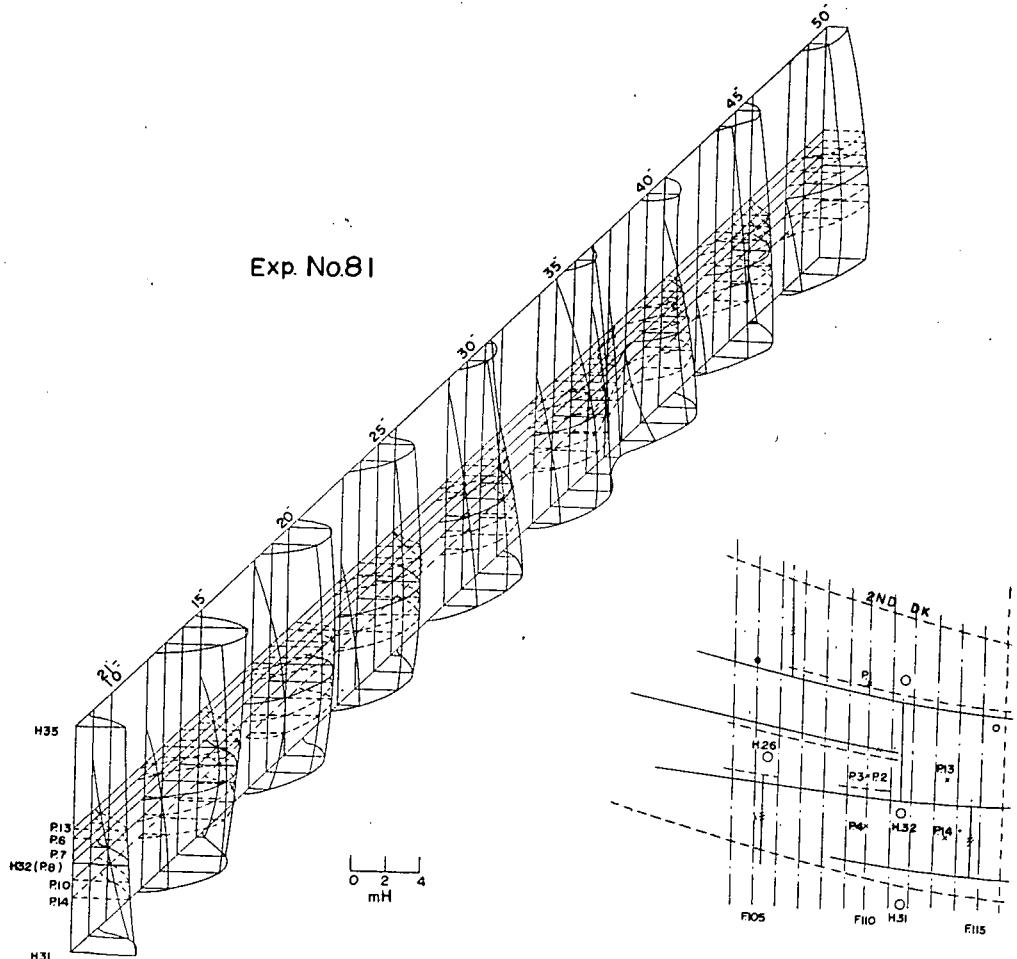


Fig. 6-62 Load Distribution

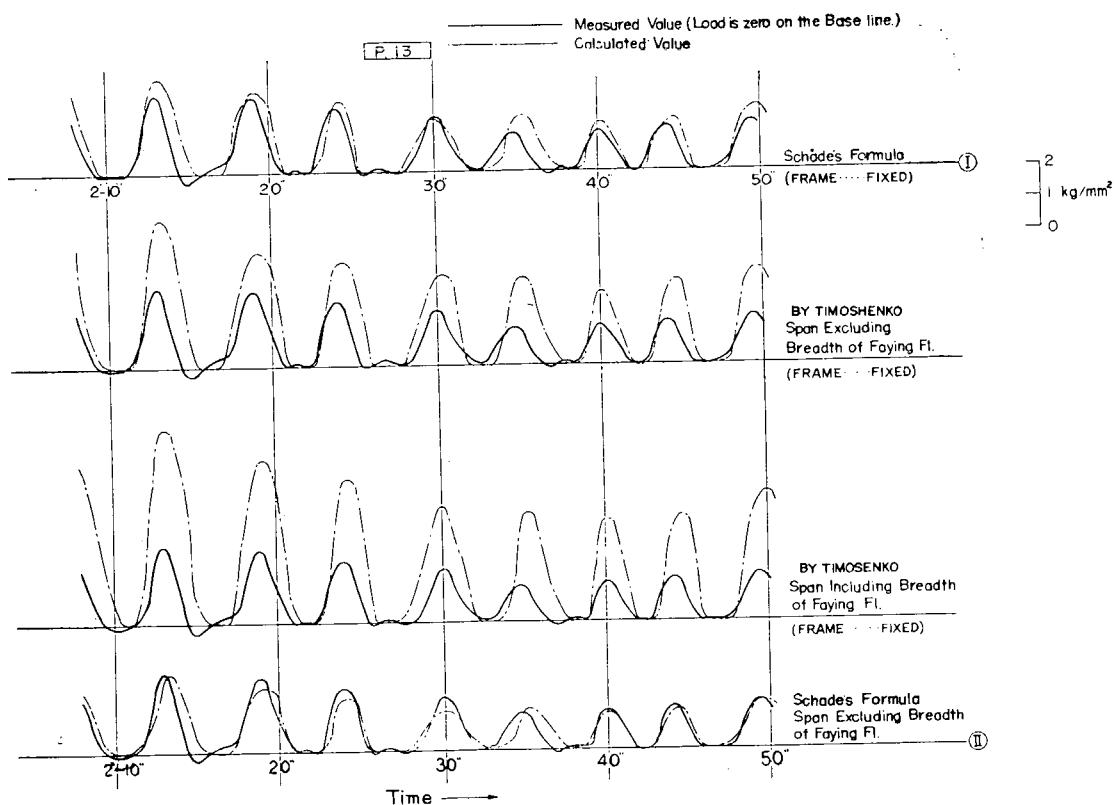


Fig. 6-63 Comparison of Stresses produced in Shell Plate (I)

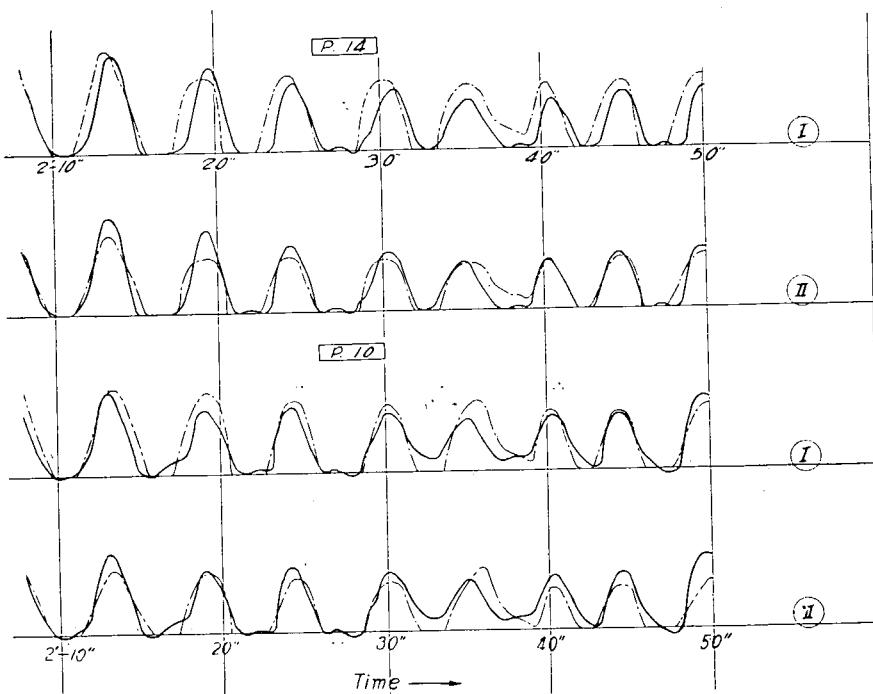


Fig. 6-63 Comparison of Stresses produced in Shell Plate (II)

従つて荷重は測定点に対する水圧を探り、一様分布として各条件に対する計算値と測定値の比較を行ひ、その結果を Fig. 6-63 に示した。

各点共 Schade 式による肋骨位置で固定の場合が実測値とよく合っており、特に faying flange の幅を除いたパネル板幅に対するものとほとんど一致している。

図中で位相が異なる所があるのは、応力測定点と水圧計が船の長さ方向に 1~2 肋骨心距の差があるためと考えられる。また前記仮定のように短辺に平行な細片として取扱うことができ、かつその部分の荷重に強く支配されることも確認できるようである。ただし解析例のように不均一荷重でも比較的連続性の荷重分布に対しては前記の仮定があてはまるが、波塊が極く小部分に来た場合上記とは相当異なることが予想せられる。

### 6・7・1・3 特殊部分の応力

測定点 6, 7 の二点は他の測定点に比較して変動が少ないので、他の部分と異なる条件のものになるものと思われる。この二点は右の略図のごとき配置にある。すなわち外板縁線によつて板が小さく区切られている。縁線の累接を防撓材とみなし  $580 \times 500$  の板とし、肋骨位置で固定、累接位置を支持として Schade 式を適用する。この場合の測定点の応力方向は長辺方向となる。



$$\sigma_{a\max} = 5.46KP(b/t)^2,$$

$$a=580, \quad b=500, \quad t=11.7, \quad a/b=1.14,$$

$K=0.042$  (from Schade's curve),  $P=1.0 \text{ kg/cm}^2$  として

$$\sigma_{a\ max} = 3.5 \text{ kg/mm}^2$$

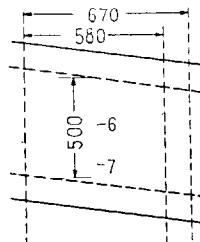


Fig. 6-64 には測定点 6, 7 に対して算定した応力と実測値の比較を行った。

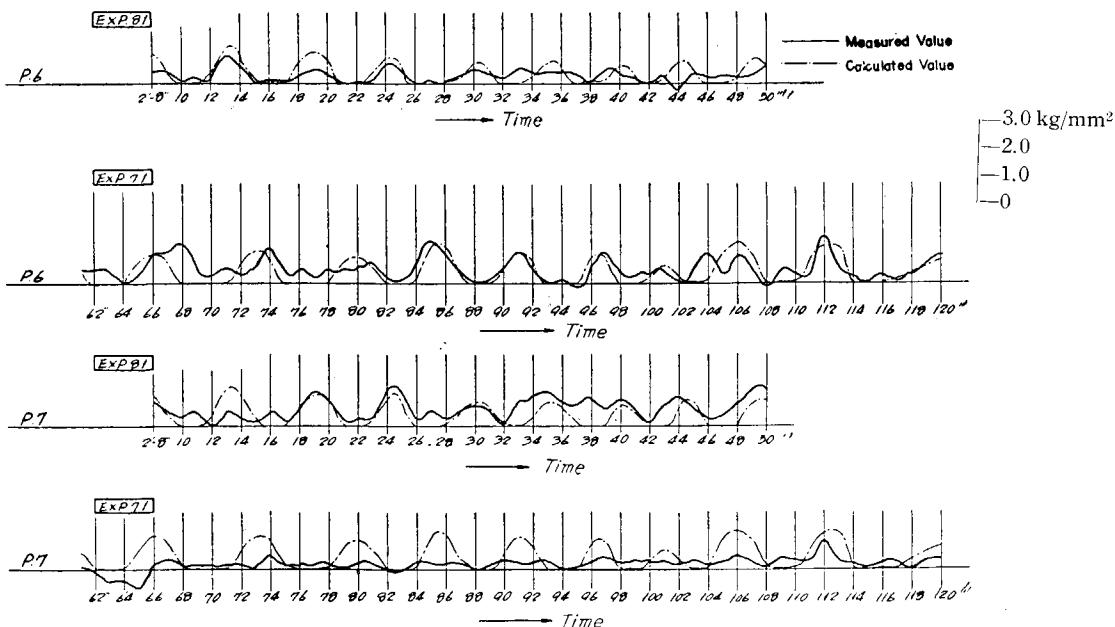


Fig. 6.64 Stresses produced in Shell Plate stiffened at Longitudinal Seam Line

測定点 6 は計算値とほぼ合つており、測定点 7 は傾向は一致しているが、実測値は計算値より低い。これは、この点は縦縁に近く、垂直方向の分布から見ても低くなる所であり、当然ともいえる。このことから累接縦縁は板に対して防撓効果が認められるようである。次に累接縦縁の防撓効果を認めた場合、他の測定点に対する解析値が異なつて来ることが懸念されるが、防撓材のない板に対する Schade 式では  $\eta=1.0$  となり、本測定の範囲の  $a/b$  変化においては  $K$  値がほとんど変化しないので、解釈を変更する必要はない。

#### 6・7・2 肋骨応力の解析

肋骨応力に対しても、外板と同様に水圧計記録から荷重を推定し、Schade 式によつて解析したが、梁として肋骨を解析した場合、荷重分布の及ぼす影響が大きいので、直接積分して曲げモーメントを求めたものを主体にした。

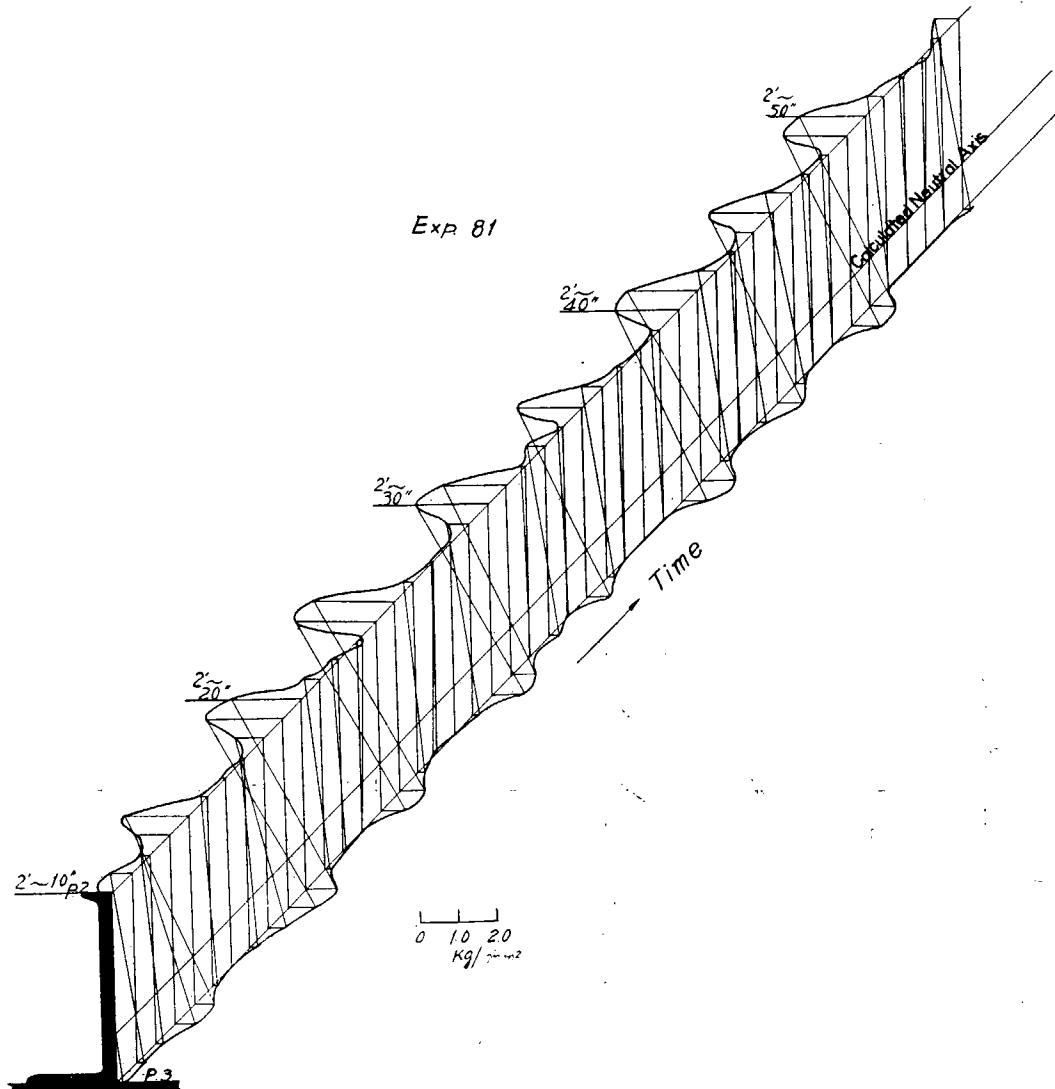


Fig. 6-65 Comparison of Calculated Neutral Axis and Experimental Results

### 6・7・2・1 中立軸

肋骨応力の検討に先だち、板の有効幅をいかほどにとるべきかを決定するために中立軸の位置を調査してみた。Fig. 6・65 に測定点 P-2, P-3 における中立軸の推定を示す。図中計算中立軸とあるものは、1 肋骨心距 670 mm の外板を含んだものである。図によればおおむね計算中立軸でよく、外板有効幅として 1 肋骨心距をとることとする。

### 6・7・2・2 Schade 式による肋骨の応力

- i) 二重底、第二甲板の bracket heel 位置で固定した場合

肋骨中央に生ずる曲げ応力  $\sigma_m$  は

$$\sigma_m = \frac{KPb^2r_b}{i_b}$$

$$r_b = 15.4 \text{ cm} \quad (6.06 \text{ in.}) \quad b = 158.4 \text{ in.} \quad i_b = 3.13 \text{ in.}^3$$

$$K = 0.0417 \quad (\text{from Schade's curve}) \quad P = 1.0 \text{ kg/cm}^2 \quad (10 \text{ m 水頭})$$

に対して

$$\sigma_m = 20.28 \text{ kg/mm}^2$$

- ii) 二重底、第二甲板の bracket toe 位置で固定とした場合

$$b = 2,600 \text{ mm}, \quad P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$$

に対して

$$\sigma_m = 8.45 \text{ kg/mm}^2$$

各測定点に対する水圧-応力の関係を Fig. 6・66 に示す。

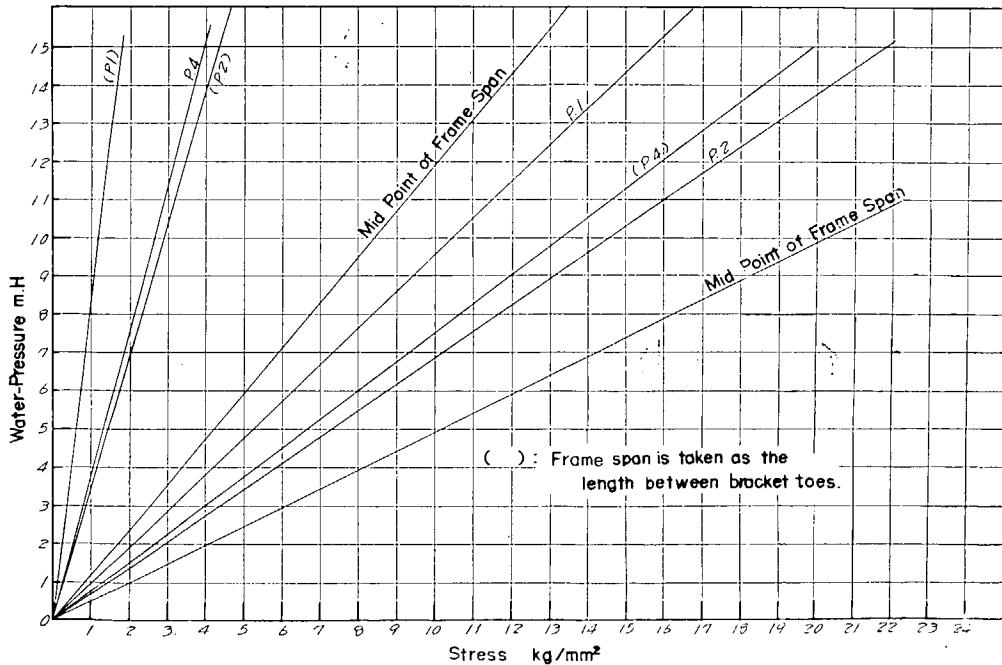


Fig. 6-66 Relation between Frame Stress and Water-Head by Schade's Formula

### 6・7・2・3 水圧分布より求めた曲げモーメント

#### (1) 荷重の推定

荷重分布は外板の場合と同様に水圧計記録より求めたが、水圧分布は船の長さ方向に1肋骨心距の間は変化がないものとし、1本の肋骨には1肋骨心距の間の水圧が加わるものとした。代表的な荷重分布を Fig. 6-67 に示した。図中 still water となるのは波のない静水中で、喫水による水圧の値である。

#### (2) 曲げモーメントの推定

境界条件として bracket heel において固定されている梁として取扱つたが、bracket を弾性支持とする Murray<sup>2)</sup>式のものも併記した。すなわち隔壁防撓材計算法における Murray 式で肘板の点が固定と自由支持の中間の支持状態にあるとし、A～B をスパンと考える。

A 点から  $x$  の距離にある点の曲げモーメント  $\bar{M}_x$  は

$$\bar{M}_x = \bar{M}_x^{\oplus} - \left[ \alpha M_A + \frac{x}{l} (\beta M_B - \alpha M_A) \right]$$

$\bar{M}_x^{\oplus}$ : 両端自由の場合における曲げモーメント

$M_A, M_B$ : 両端固定の場合の A, B 点における曲げモーメント

$\alpha, \beta$ : A, B の固定度

本解析においては第二甲板、二重底共に肘板の深さ 700 mm で肘骨固定の程度としては大差ないと考えられるので

$\alpha = \beta = 0.5$  (面材を有する肘板として) とした

$$\bar{M}_x = M_x^{\oplus} - 0.5 \left[ M_A \frac{x}{l} (M_B - M_A) \right]$$

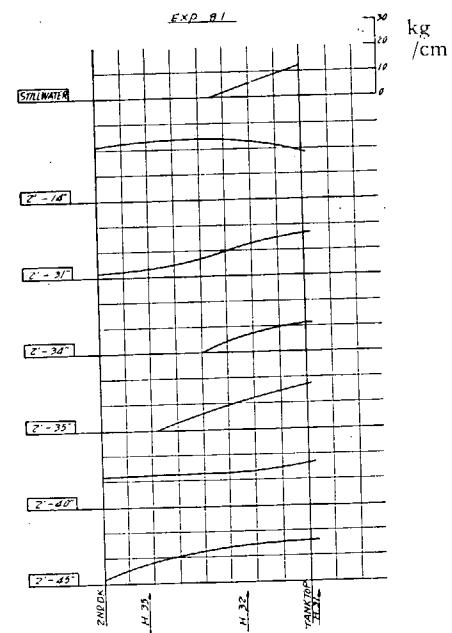


Fig. 6-67 Estimation of Load

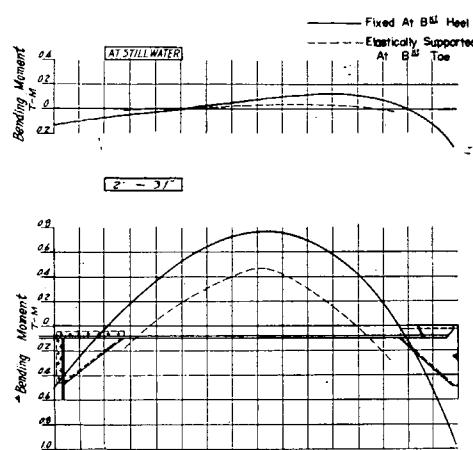
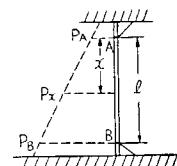


Fig. 6-68 (a) Bending Moments for Frame

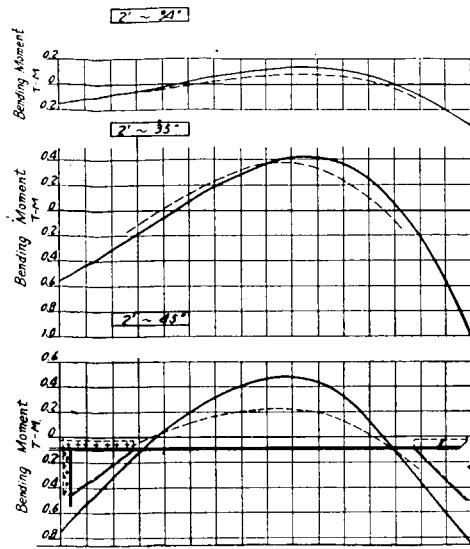


Fig. 6.68 (b) Bending Moments for Frame

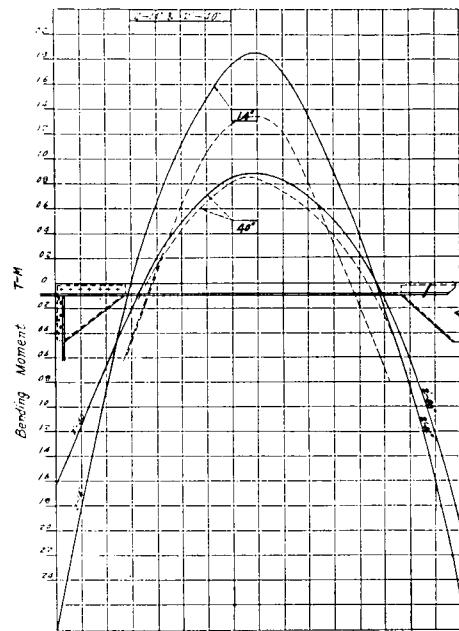


Fig. 6.68 (c) Bending Moments for Frame

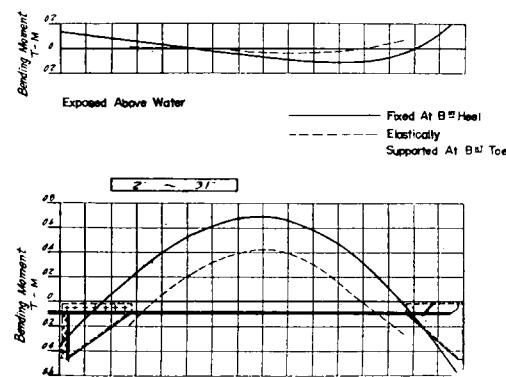


Fig. 6.69 (a) Bending Moments for Frame

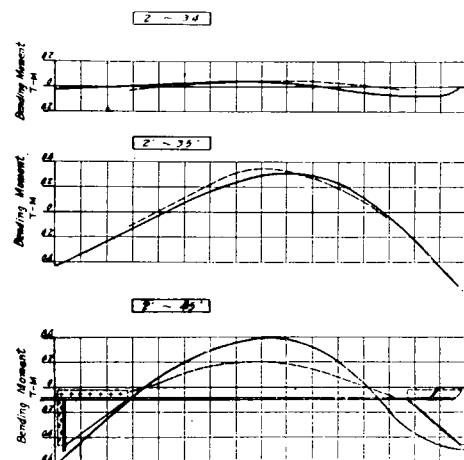


Fig. 6.69 (b) Bending Moments for Frame

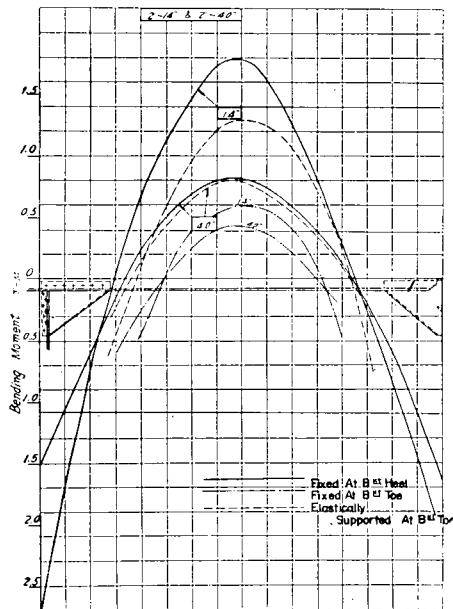
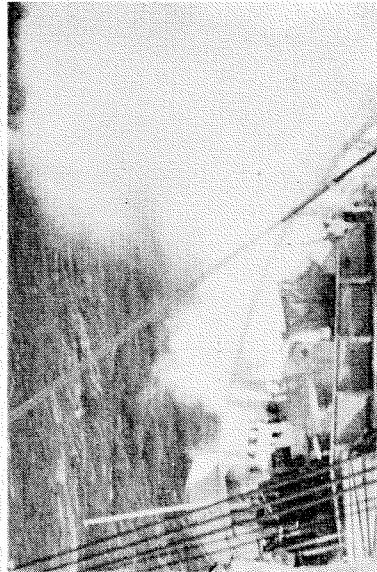
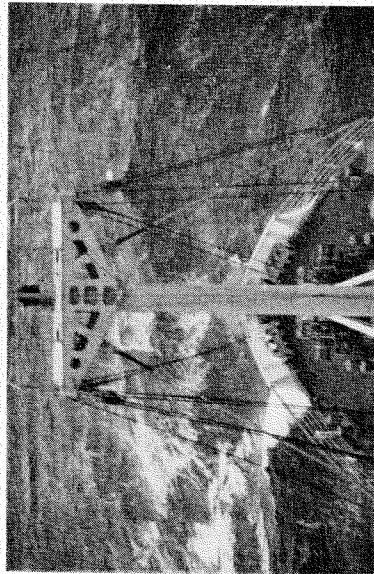


Fig. 6.69 (c) Bending Moments for Frame

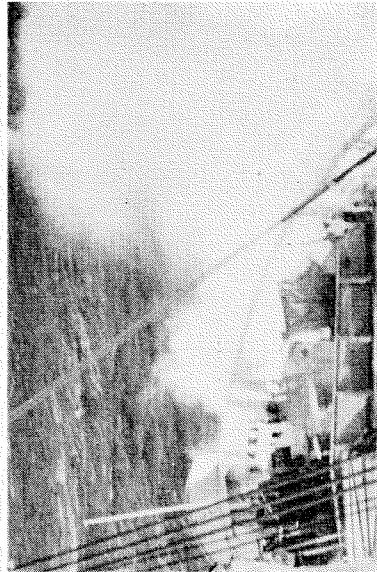
〔附 図〕



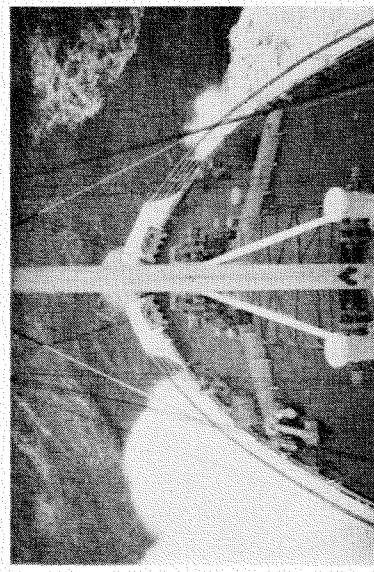
( 1 ) Water Pressure Gages and Wire Strain Cages



( 2 ) Sea Condition at Wind Speed 30 m/sec



( 3 ) Slamming—I



( 4 ) Slamming—II

## 6・8 船体振動

### 6・8・1 目的

航行中、特にスラミング時の船体に生じた振動について、その振動数および振動型を加速度計と甲板応力の記録から求め、これを投錨作業中のものと比較し、船体固有振動数と衝撃との関係を考察した。

### 6・8・2 加速度計から求めた船体振動

加速度計の記録から顕著な船体振動を拾うと Table 6・17 のようになる。但し  $A_1$  は A.P. 附近、 $A_2$  は船体中央より約  $1/10 L$  後方、 $A_3$  は F.P. 附近に位置する加速度計を表わしている。これらの 3 個の記録が完全に位相差  $0^\circ$  又は  $180^\circ$  になつた場合だけをとり、その他の位相関係を示す過渡振動は除外した。Fig. 6・71 に加速度計の記録例を示し、水圧計と加速度計のうけた衝撃と振動開始の時間的関係を比較した。

Table 6・17 Ship Vibration measured by Accelerograph

Exp. No.	Time m. s.	No. of Node	$A_1$	Pole $A_2$	$A_3$	$T$ (sec)	$f$ (cpm)	Max. Amp. (mm)	Remarks
62	1.07~1.12	3	↑	↓	↓	0.21	285		
64	3.20~3.23	3	↑	↓	↓	0.21	285		
70	0.59~1.04	2	↑	?	↑	0.37	162		
74	0.36~0.40	3	↑	↓	↓	0.21	285		
78	2.08~2.12	4	↑	?	↑	0.15	400		
87	0.52~0.54	4	↑	?	↑	0.154	390	$A_1 0.086$	
"	0.73~0.75	3	↑	?	↓	0.205	293	$A_1 0.30$	Anchoring
"	0.82~0.84	3	↑	?	↓	0.204	294	$A_1 0.18$	
97	2.32~2.36	3	↑	↓	↓	0.21	285		
100	3.48~3.52	2	↑	?	↑	0.37	162		
105	2.30~2.33	2	↑	?	↑	0.36	167		
106	3.58~4.01	3	↑	?	↓	0.21	285		Slamming
"	4.02~4.06	2	↑	?	↑	0.36	167		Slamming
112	5.11~5.15	2	↑	?	↑	0.37	162		
113	2.54~2.58	2	↑	?	↑	0.36	167		
114	0.41~0.43	2	↑	↓	↑	0.36	167		
"	1.43~1.47	3	↑	?	↓	0.22	273		
115	4.41~4.42	Racing vibration is observed at $A_1$ when stern is heaving up.				0.084	715		174 rpm × 4
116	9.57~10.01	2	↑	?	↑	0.36	167		

水圧計に感ずる衝撃は、その水圧計が空中より水中に入る瞬間に感ぜられるが、船首の加速度計のうける衝撃はそれより 1 秒余り後、即ち船首下降最大時（上向き加速度最大）に記録せられ、振動数は 50 c.p.s. より大で加速度複振幅は  $200 \text{ cm/sec}^2$  の程度である。加速度計の記録に判然と 2 節振動が認められるのは、衝撃があつてから更に 2 秒位後である。即ち振動開始の時は船体はほぼ水平となり、更に船首が上昇しようとする附近であることが認められる。

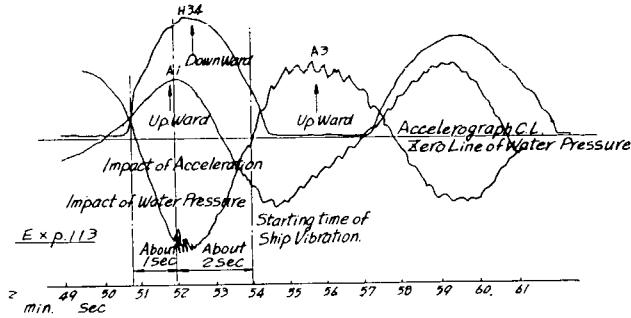


Fig. 6.71 Examples of Records of Accelerograph and Water Pressure

### 6・8・3 甲板応力から求めた船体振動

甲板（遮浪甲板）上 6 カ所に設けられた歪計の記録から顕著な船体振動を拾うと Table 6.18 のようになる。この場合も過渡現象と考えられる複雑な振動は除外した。

Table 6.18 中の若干のものは振動応力が比較的大で、その分布が Fig. 6.72 のように画かれるが、これらは何れも 2 節の上下曲げ振動であることを示している。Fig. 6.72 中の点線は一様断面の自由一自由梁の振幅曲線から求められた応力分布曲線（応力値は船体中央において  $0.3 \text{ kg/mm}^2$  にとる）であつて、実験値が一様断面の自由一自由梁の振動に類似していることを表している。

Fig. 6.73 に甲板応力振動波形の一例を示し、減衰の状況を比較した。D<sub>2</sub>～D<sub>5</sub> の点に於ける振動は 5 秒位持続するが、D<sub>1</sub> および D<sub>6</sub> の点の応力は自由端であるためにその値が少なく、1 秒位経過

Table 6.18 Ship Vibration measured by Wire Strain Gages on Shelter Deck

Exp. No.	Time (m. s.)	No. of Node	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	Pole D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	T (sec.)	f (c.p.m.)	Max. Double Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Remarks
70	59 ~ 64	2	↑	↑	↑	↑	↑	?	0.368	163		
.74	36 ~ 40	3	?	↑	↑	!	!	?	0.210	286		
78	2.08~2.14	4	!	!	↑	↑	!	?	0.153	392		
105	2.30~2.33	2	?	↑	↑	↑	↑	?	0.356	168	0.12	
106	4.02~4.06	2	?	↑	↑	↑	↑	?	0.358	168	0.13	
114 ①	4.1 ~ 4.3	2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	0.362	166	0.37	
〃 ②	1.43~1.47	2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	0.350	167	0.19	

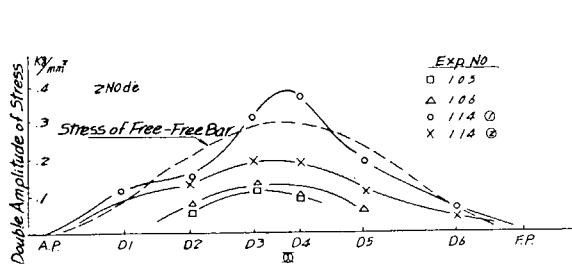


Fig. 6.72 Stress Amplitude

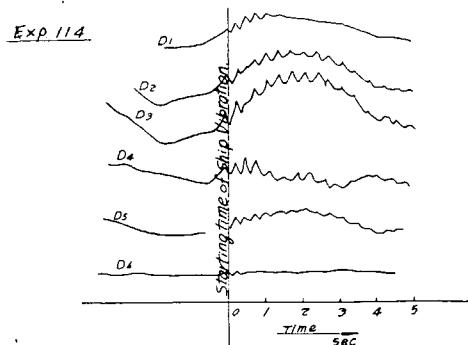


Fig. 6.73 Examples of Vibration Records

すると記録紙上では見られなくなる。

#### 6・8・4 船体固有振動数の算定

前節に得られた船体上下振動数が固有値に一致していることを確かめるために略算式により固有振動数の計算を行つた。

##### 6・8・4・1 固有振動数計算に使用した要目

長さ	$L_{pp}=92.0\text{ m}$
幅	$B=14.5\text{ m}$
平均吃水	$d=4.66\text{ m}$
排水量	$W=3861.6\text{ t}$ (昭和31年1月23日朝)
附加水重量	$W_r=(0.21+0.32B/d)W=4653.2\text{ t}$

(F. M. Lewisによる)

以下の計算の便宜のために、排水量  $W$  は次のように分割して考える。先ず船殻および艤装重量  $W_H$  と集中附加重量  $\Sigma W_i$  とに分け、更に集中附加重量は主機、補機、清水等 22 項目に分割し、それぞれの重量と重心よりの距離を算定する。

$$W_H=1997.8\text{ t}$$

$$\Sigma W_i=1863.8\text{ t}$$
 (Table 6・19 参照)

$$\text{船体中央断面二次モーメント } I_m=10.77\text{ m}^4$$

(甲板応力計 D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> の位置の値の平均)

$$\text{鋼材ヤング係数 } E=2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{プロック係数 } C_b=0.608$$

$$\text{重力の加速度 } g=980 \text{ cm/sec}^2$$

##### 6・8・4・2 吉謙法による計算<sup>1)</sup>

先ず中央横断面の断面二次モーメント  $I_m$  と船殻および艤装重量  $W_H$  とを Biles 法により梯形状に分布せしめた場合の中央部の単位長さ当たりの重量  $w_m$  をとり、 $I_m$  および  $w_m$  の一様な柱状船を考え、その振動数  $N_0$  を計算する。

$$I_m=10.77\text{ m}^4$$

$$w_m=1.2 \times \frac{1997.8}{92}=26.06\text{ t}$$

$$N_0=\frac{60 \times 22.373}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI_m g}{w_m}} \quad (\text{上下2節振動数 c.p.m.})$$

次に今考えた梯形分布以外の重量は、それぞれの重量がその重心位置に集中的に存在するものとして、それ等の影響による補正をエネルギー法則によつて修正した振動数  $N$  は

$$N=N_0 \left[ 1 + 4 \sum_{i=1}^k r_i \left( \frac{u_i}{u_0} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

ここに  $r_i$ : 集中荷重の假想柱状船に対する重量比

$k$ : 集中荷重の分割個数 (ここでは  $k=22$ )

$u_i/u_0$ : 集中荷重の作用位置に於けるノルマル函数の値と船の前後端に於ける値との比,  
 $(u_i/u_0)^2$  の値は文献 1) の Fig. 3 に  $z$  (=集中荷重の作用位置と船体中央の距離と船の長さとの比) に対して示してある。  
 $\sum r_i(u_i/u_0)^2$  の値は Table 6·19 に計算してある。

Table 6·19 Additional Concentrated Weight

$I$	Items	$W_i$ (t)	$x_i$ (m)	$\frac{r_i}{W_i/w_m L}$	$z_i = x_i/L$	$(u_i/u_0)^2$
1	Main Engine	79	+5.6	0.033	0.061	0.031
2	Shaft & Propeller	53	+27.1	0.022	0.294	0.006
3	Aug. Engine	41.6	+2.4	0.017	0.026	0.361
4	Boiler	30	-2.1	0.013	0.023	0.363
5	Uptake & Funnel	18	0	0.008	0	0.370
6	Capstan	8.5	-39.5	0.004	0.429	0.449
7	Str. Engine	4.1	+43.8	0.002	0.476	0.798
8	Oil & Water in Engine Room	68	-2.88	0.028	0.031	0.358
9	No. 1 D. T.	208.7	-13.10	0.087	0.142	0.190
10	No. 2 D. T.	338.9	-8.21	0.141	0.089	0.289
11	No. 3 E. O. T.	30.7	-7.75	0.013	0.084	0.298
12	No. 1 Hold	16.6	-32.6	0.007	0.354	0.111
13	No. 1 F. W. T.	79.2	-31.87	0.033	0.346	0.089
14	No. 6 F. W. T.	101.4	+17.58	0.042	0.191	0.091
15	No. 7 W. B. T.	27.4	+31.28	0.011	0.340	0.073
16	No. 1 W. T.	64.3	+11.36	0.027	0.123	0.227
17	No. 2 W. T.	239.1	+19.12	0.100	0.208	0.060
18	No. 3 D. T.	225.5	+30.87	0.094	0.335	0.061
19	A. D. T.	57.9	+42.79	0.024	0.465	0.710
20	No. 4 Fd. W. T.	3.3	-1.30	0.001	0.014	0.367
21	No. 5 Fd. W. T.	78.2	+5.98	0.033	0.065	0.326
22	No. 2 W. B. T.	90.2	-18.00	0.038	0.195	0.083
		1.863—8			$\sum r_i(u_i/u_0)^2 = 0.1570$	

これらの値を入れて計算すると

$$N_0 = 232.8 \times 0.784 = 182.5 \text{ c.p.m.}$$

となる。

本方法は附加水、剪断撓み等の影響を補正していないので、実測値より高めに出る傾向がある。その比は 1.1~1.2 [文献 1) 中の B 船および C 船の値] であるから、本船においてはその比を  $182.5/165=1.10$  とすると、2 節上下曲げ振動の固有振動数は 165 c.p.m. 附近であると判定できる。

#### 6·8·4·3 熊井法による略算式<sup>2)</sup>

$$N_m = \lambda_m \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{gE\bar{I}_0}{J_1 \bar{L}^3}}$$

ここに  $N_m = m$  節上下固有振動数 c.p.m.  $J_1 = W + W_r$

$\lambda_m = m$  節における係数  $\bar{I}_0 = I_m$

$\lambda_m$  の値と  $N_m$  の値を Table 6・20 に示し、実測値と比較した。

Table 6・20 Values of  $N_m$ ,  $\lambda_m$   
Shelter deck type  $L/D=12$  (Ginga Maru=12.43)

No. of nodes	Condition	Calculated Values		Measured Values $N_m$ (c.p.m.)
		$\lambda_m$	$N_m$ (c.p.m.)	
2 Node	trial	32.50	179.5	165
	full	29.50	165.5	
3 Node	trial	57.51	322.6	286
	full	60.50	339.4	
4 Node	trial	85.10	477.4	395
	full	99.40	557.6	

Table 6・20 によると、2 節においては満載状態の計算値によく近似している。3, 4 節の実測値は公試状態より満載状態の計算値に近いが、相当低いので高次振動は船の状態、海面の状態によって非常に影響せられるのではないかと思われる。

#### 6・8・4・4 其他の略算式の係数

富田式<sup>3)</sup>においては

$$N_2 = C \sqrt{\frac{I_e \times 10^8}{4L^3}}$$

ここに  $I_e = I_m$  (Shelter dk. type)

$A$ ; 排水量  $C$ ; 係数

$N_2 = 165$  c.p.m. のとき  $C = 272$  となる。文献 3)においては三島型貨物船の例として公試状態にて 283、満載状態にて 228 の数字を与えており、本船の  $C$  の値はその丁度中間にくることになる。

O. Schlick 式においては

$$N_2 = \phi \sqrt{\frac{I_m}{WL^3}} \quad (I_m, \text{ m}^2 \text{ mm}^2)$$

$N_2 = 165$  c.p.m. のとき  $\phi = 2,720$  となる。

$\phi$  として貨物船にて 2,800、客船にて 3,140、油送船にて 2,940 の値が与えられているので、本船の  $\phi$  の値は貨物船の程度であることがわかる。

#### 6・8・5 上下 2 節および 3 節振動の発生する状況とその理由についての考察

先ず上下 2 節についてみると、大きなスラミングを受けて船体の前部が叩かれた直後に必ず現われることが判明した。加速度計の記録についてみると、船首がピッキングとヒーピングの合成運動によつて水中に突込み、その極点に達するわずか以前に波の衝撃を船首部に受け暫時複雑な振動を起すが、高次の振動は速かに減衰して 2 節のみが相当長く残り、振動として感じられるのであらうと考えられる。波の衝撃力の中心は  $0.1L$  附近にあると假定すると、これは 3 節振動の節点の位置に近く（一

様梁の理論値は  $0.132 L$ , 実測値ではそれより少し船体中央に寄ることが多い), 従つて 3 節に対する起振力は弱く, 且つ上述のように 3 節は 2 節より減衰の早いことと相俟つて 3 節の振動はスラミング時に観測されないのである。

次に投錨中および航行中のある時間相当長く続く強制振動と思われる 3 節振動が計測せられた。何れも振動数 290 c.p.m. 附近で他から強制力を与えられて振動が起るものと考えられる。投錨作業中に起る振動は錨鎖が錨鎖孔の中を滑降する際にその壁面に衝突して規則正しい衝撃を与え, これが船体の 3 節振動数に等しくなると強制振動を起させるものと考えられる。錨鎖 1 個おきの間隔は本船においては 38 cm の程度であり, 錨鎖速度を 1.88 m/sec とすると 290 c.p.m. の衝撃を与えることになる。投錨作業時のオシログラムを見ると, 錨鎖を相当長く連続して繰出す場合にはじめの部分を除いて, 中程から後半の錨鎖速度が一定となつたと見做されるときだけに規則正しい 3 節の振動波形がみられ, 錨鎖を繰出すはじめの部分や, 短く錨鎖を繰出すときには過渡現象的な複雑な波形がみとめられるのみである。3 節の振動は減衰が早いので, 錨鎖の繰出しを止めると殆ど同時に振動は停止してしまい, 自由減衰振動はみとめられない。又錨鎖速度のより遅いときに 2 節強制振動の起らないのは, 強制力の不足であると考えられる。

上述の錨鎖速度については正確な実測がないが, 一般に 2~4 m/sec 附近であろうと云われているから, 本船の錨鎖速度は妥当な値であると判断出来る。

航行中, 相当長時間(数分間以上) 3 節振動がみられることがあつたが, これは機関又は推進器の回転数が 143 r.p.m. 附近のとき, その機械的, 水力学的不平衡力が強制力となつて

$$143 \times 2 = 286 \text{ c.p.m.}$$

の振動が現われたものと判断される。

以上をまとめると, 加速度計および甲板の歪計の記録より求められた船体垂直振動は, 振動数 167 c.p.m. の 2 節振動と振動数 285 c.p.m. の 3 節振動が多く見られた。これらは吉識, 熊井等の式によつて求めた固有振動数とよく一致した。又 2 節振動はスラミング直後, 3 節振動は航行中および投錨中に起ることを確認し, その原因の説明を行つた。

## 文 献

- 1) 吉 識: 船体撓振動の固有振動数を求める簡易計算法, 造船協会会報 73 号, p. 87.
- 2) T. Kumai: Vertical Vibrations of Ships., 九大応力研, 研究報告 Vol. III, No. 9, p. 25.
- 3) 富 田: 設計初期における船体固有振動数の推定, 造船協会論文集, 86 号(前篇) p. 17.

## [附] 平水航走時の水圧分布

平水航走時の水圧分布を求めるために特に東京湾内において水圧分布の測定を行つた。主機回転数 160 r.p.m. (船速約 11 knot) で行つた測定結果を Fig. 6·74 に示す。図によると船首部および船尾部附近が正の圧力の分布を示しているのに対して船体中央部附近は負の圧力を示している。このような傾向は理論的にも知られていることであり, 船体中央部附近は船首, 船尾附近に比して流速が早くなるために圧力が減少するのである。

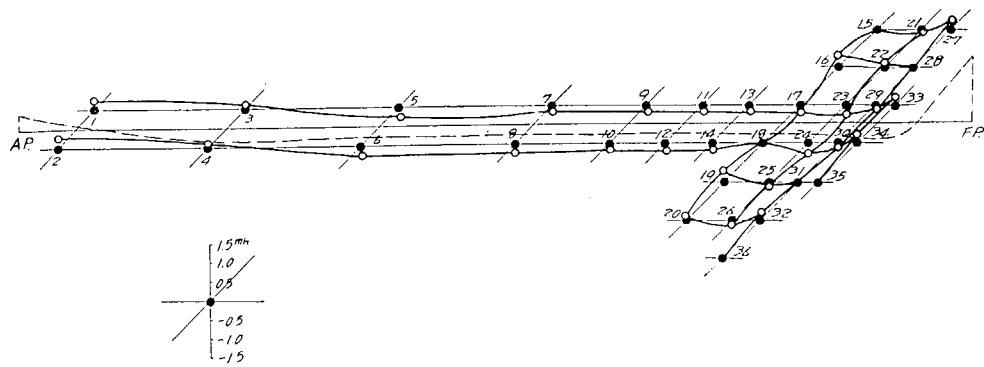


Fig. 6.74 Pressure Distribution (Navigation in Still Water)

回転体について風洞実験により圧力分布を求めた結果の一例を Fig. 6.75 に示す。図によると理想流体として考えた場合に比し後端における圧力の上昇が小さいが、これは理想流体と実際の流体との差異によるものである。模型 A の実験結果による圧力分布の状況を Fig. 6.74 図中に点線で示してあるが、実船における計測結果とはその傾向はよく一致していることが知れる。しかし、圧力変動の絶対値は極めて小さく、船体の強度計算に対しては勿論これらの影響を無視することができる。

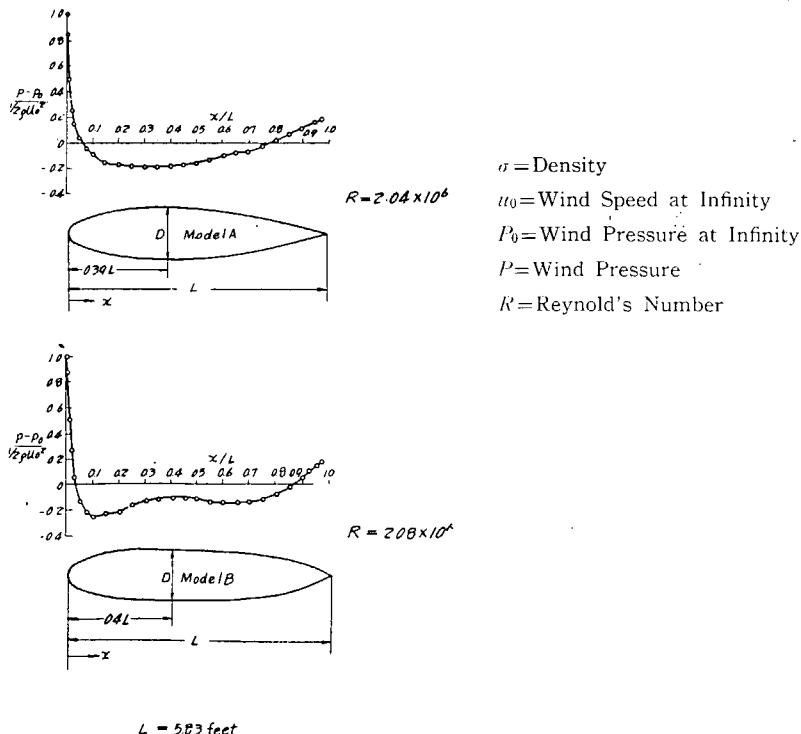


Fig. 6.75 Model Test Results

## 第7章 結 語

以上が運輸省航海訓練所練習船“北斗丸”および“銀河丸”について行つた実船航走時の強度試験結果である。本研究は第1章にも述べた如く、波浪中を航行する船舶の縦強度に及ぼす船体運動および波浪の影響、すなわち所謂動的影響を明らかにすると同時にスラミング時に船体が受ける衝撃圧力および船体応力を測定し、その機構を明らかにすることを目的としたものである。本研究においては“北斗丸”による実験により各計器の試作改良を行つた後“銀河丸”についての実験を行つたので各種測定計器の作動状況も概して良好であり、スラミング現象の記録も可成り得られた。これらの記録をすべて詳細に検討するには将来なお可成りの日時を必要とするが、今回は取敢ず特に下記の事項について解析を行つたものである。

- (1) 海象および本船状態とスラミング発生状況
- (2) 水位と水圧の関係
- (3) スラミングによつて生ずる船体応力
- (4) 波浪による船体応力
- (5) 船首部パネルの局部強度
- (6) 船体振動

これら解析によつて得られた結果は第6章に詳述したとおりであり、種々有益な興味ある結果が得られている。これらの中には従来の諸理論によつて説明のつくものも可成り多いが、更に将来の研究成果に俟つべきものもある。特に波浪による有効浮力の問題、不規則波中のスラミングの問題等は将来に残された重要な問題である。これらについては更に計器の不備を改善し、実船試験を繰返すと共に、水槽試験を平行して行うことが必要であろう。

### 附記

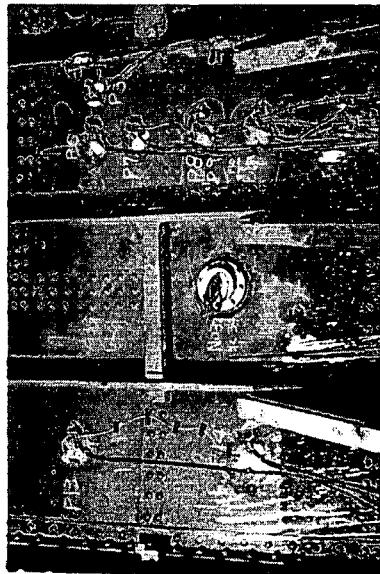
本報告で行つた解析事項の内(1)は越智、池田委員、(2)は佐藤、高橋委員、(3)は安藤委員、(4)は金沢、長沢、三波委員、(5)は宝田委員、(6)は竹鼻委員によつて主として解析が行われた。それらの結果を持寄り上記各委員と吉識主査よりなる小委員会で検討し取纏めたものである。



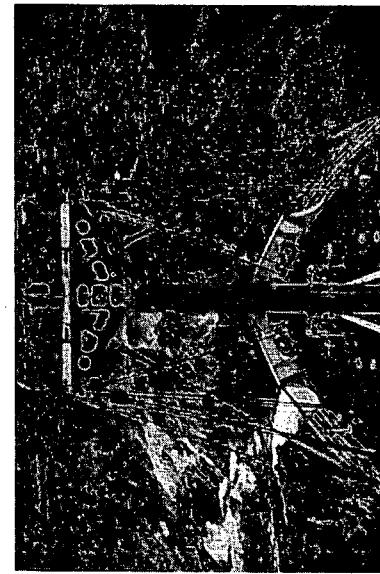
(3) Slamming—I



(4) Slamming—II



(1) Water Pressure Gages and Wire Strain Gages



(2) Sea Condition at Wind Speed 30 m/sec

昭和33年11月25日 印刷  
昭和33年11月29日 発行

日本造船研究協会報告 第24号

発行人 出 淵 義

発行所 社團法人日本造船研究協会

東京都中央区京橋1ノ2

セントラルビル

電話 (28) 1409

印刷所 松 本 印 刷 所

電話 (34) 4853