

社団法人  
日本造船研究協会報告  
第72号

昭和47年5月

---

大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験……………第118研究部会

Actual Ship Experiment of Stress Distribution of Large Ore Carriers

……………The 118th Research Committee

---

Report No. 72

The Shipbuilding Research Association of Japan

Tokyo, Japan

May 1972

第118研究部会委員名簿 (敬称略、順不同)

部会長幹事 委員	高橋 幸伯	(東京大学)	梅崎 一夫	(三菱重工業)
	安藤 文隆	(船舶技術研究所)	金井 一十三	(昭和海運)
	尾花 鮎	(運輸省船舶局)	郷田 国夫	(船舶技術研究所)
	熊倉 靖	(石川島播磨重工業)	高城 清	(川崎汽船)
	小杉 隆祥	(大阪商船三井船舶)	長沢 準	(船舶技術研究所)
	寺田 邦夫	(三菱重工業)	萩原 孝一	(三菱重工業)
	中村 昭和	(川崎重工業)	松村 治雄	(日本钢管)
	藤田 謙	(東京大学)	渡辺 崑建	(三菱重工業)
	沢田 吉郎	(日本海事協会)	酒井 利夫	(日立造船)
	小林 三藏	(名村造船所)	田添 英士	(大阪造船所)
	眞田 良	(日本船主協会)	野沢 登	(函館ドック)
	西牧 興	(日立造船)	堀之北 克朗	(運輸省船舶局)
	服部 堅一	(住友重機械工業)		
	綿屋 吾郎	(佐世保重工業)		

乗船計測員名簿 (敬称略、順不同)

遠藤 久芳	(船舶技術研究所)	大石 智也	(川崎重工業)
大山 綱之	(川崎重工業)	小畠 和彦	(東京大学)
菊入 博昭	(日本海事協会)	楠原 泰四郎	(日本钢管)
久保米 盛	(三菱重工業)	小林 佑規	(船舶技術研究所)
清水 誠	(船舶技術研究所)	竹本 博安	(船舶技術研究所)
谷政明	(船舶技術研究所)	直井 保	(船舶技術研究所)
中村義二	(日本钢管)	能勢 義昭	(東京大学)
平岡善博	(日本海事協会)	松岡 孝典	(三菱重工業)
渡辺 佐千雄	(東京大学)		

Membership of SR-118

Chairman :	Prof. Y. Takahashi	
Members :	Dr. N. Ando	Mr. A. Nakamura
	Prof. Y. Fujita	Dr. K. Nishimaki
	Mr. K. Goda	Mr. N. Nozawa
	Mr. K. Hagiwara	Mr. K. Obana
	Mr. K. Hattori	Mr. T. Sakai
	Mr. K. Horinokita	Mr. R. Sanada
	Mr. H. Kanai	Mr. K. Takashiro
	Mr. S. Kobayashi	Mr. E. Tazoe
	Mr. T. Kosugi	Mr. T. Terada
	Mr. Y. Kumakura	Mr. K. Umezaki
	Dr. Y. Masuda	Mr. S. Watanabe
	Mr. H. Matsumura	Mr. G. Wataya
	Dr. J. Nagasawa	

Measuring Staff :	Mr. H. Endo	Mr. K. Obata
	Mr. Y. Hiraoka	Mr. T. Ohishi
	Mr. H. Kikuiri	Mr. T. Ohyama
	Mr. Y. Kubo	Mr. M. Shimizu
	Mr. T. Kusuhara	Mr. H. Takemoto
	Mr. T. Matsuoka	Mr. M. Tani
	Mr. Y. Nakamura	Mr. S. Watanabe
	Mr. T. Naoi	Mr. Y. Nose

# FULL SCALE MEASUREMENTS OF HULL STRESSES OF LARGE BULK/ORE CARRIERS

by

The 118 th Research Committee (SR-118)

Report of

the Shipbuilding Research Association of Japan

No. 72, May 1972

The Shipbuilding Research Association of Japan

FULL SCALE MEASUREMENTS OF HULL STRESSES  
OF LARGE BULK / ORE CARRIERS

Report of SR-118

ABSTRACTS

1. PREFACE

This is the final report of the 118th Research Committee (SR-118) of the Shipbuilding Research Association of Japan. This research was conducted for three years from April 1969 to March 1972. The original theme of SR-118 was "Actual Ship Experiments of Stress Distributions of Large Sized Ore Carriers". But actually, by some reasons, measurements were conducted on three bulk / ore carriers of single hull and double bottom type.

YAKUMOKAWA MARU	64,880 t D.W.	for 2 voyages
SHOBU MARU	63,420 t D.W.	for 2 voyages
KIMI MARU	62,325 t D.W.	for 3 voyages

Stress changes of structural members induced by loading and unloading were measured statically for various loading conditions. And dynamic stresses by wave loads were measured using a high speed multi-channel digital data recorder.

Results of theoretical calculations of static, dynamic and statistic stress were compared with the measured results.

Most of the raw data were already presented in the interim reports.<sup>1,2,3)</sup>

2. OUTLINE OF THE RESEARCH

The principal dimensions of the ships are shown in Tab.2.1.1, and the period and voyage routes of the measurements are in Tab.2.1.2.

Measuring points on YAKUMOKAWA MARU are shown in Tab.2.2.1 and Fig.2.2.1 ~ Fig.2.2.3. Measuring points of SHOBU MARU are in Tab.2.2.2 and Fig.2.2.4 ~ Fig.2.2.7, and for KIMI MARU in Tab.2.2.3 and Fig.2.2.8 ~ Fig.2.2.12.

Sensors, measuring apparatus and recorders are listed in Tab.2.2.4 and Tab.2.2.5. Block diagrams of measuring system are in Fig.2.2.13 and Fig.2.2.14.

Wave bending stress of SHOBU MARU were calculated theoretically by strip method and by I.S.S.C. wave spectra. The stresses of transverse members were calculated by three dimensional frame structure analysis and by finite elements method.

3. THREE DIMENSIONAL FRAME STRUCTURE ANALYSIS

Normal and shearing forces, bending moments and displacement of a section at the center of cargo hold were calculated by 3 dimensional frame structure model of three holds length as shown in Fig.3.1.2 and Fig.3.1.3.

Using these results, stress distribution of frame structures shown in Fig.3.1.4 and Fig.3.1.5 were analyzed in detail for the section. In addition, stress distribution in a transverse ring of KIMI MARU were calculated by finite elements method as shown in Fig.3.1.6.

Calculated stresses showed good coincidence with the measured ones as

shown in Fig.3.3.4, 3.3.5 and Fig.3.3.8.

#### 4. ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Histograms of Beaufort wind scale and wave height in this test programme are shown in Fig.4.2.1 and Fig.4.2.2. Details are in the interim reports.

In addition to these data, some data obtained in other tests were collected for statistical study. The data sources are shown in Tab.4.1.1. These data were classified in four groups of North Pacific route, Australian route, South American route and Arabian route.

Histograms of sea and weather conditions in each group are shown in Fig. 4.2.3 ~ Fig.4.2.6 and Fig.4.2.11. Histograms of ship's encounter angle to wind and swell, and histogram of shipspeed are in Fig.4.2.7 ~ Fig.4.2.10.

Samples of correlations between items of environmental conditions are in Tab.4.3.1, Fig.4.3.1 and Fig.4.3.2.

#### 5. STRESSES INDUCED BY LOADING AND UNLOADING

On the basis of the coincidence of calculated and measured stress as shown in Chap.3, stress calculations were conducted for various loading conditions.

Stresses in ballasted condition are shown in Fig.5.1.1 ~ Fig.5.1.7. Full loaded conditions were analyzed for uniform loading condition (Fig.5.1.8 ~ Fig. 5.1.11) and for alternate loading condition (Fig.5.1.12 ~ Fig.5.1.17) respectively. Among them, stresses in alternate condition are largest and stresses in uniform loading condition are smallest. Stress in top side tank shows the largest value in ballasted condition.

Fig.5.2.1 and Fig.5.1.2 are samples of loading schedule. Stress changes by loading are shown on the time base in Fig.5.2.3 and Fig.5.2.4. The results of calculation and measurements shows rather good coincidence.

#### 6. LONGITUDINAL WAVE BENDING STRESS

##### 6.1 Calculation of $\sqrt{E}$

The stress data obtained by digital data recorder (DATAC) on SHOBU MARU and KIMI MARU were processed by electronic computer. The counting of stress frequency was tried by six different methods, on the raw data superposed by springing stresses ([11][12] in Fig.6.1.1), data excluding springing ([21][22]), and the springing stress only ([31][32]). The second number in the brackets show the difference of peak counting method and range counting method.

In this report  $\sqrt{E}$  is defined as follows,

$$\begin{aligned}\sqrt{E} &= \text{Root mean square of peak values of stress} \\ &= \text{Root mean square of stress amplitudes}\end{aligned}$$

as shown in Fig.6.2.2. The RMS of stress ranges (peak to peak values) is to be called as  $2\sqrt{E}$  or  $\sqrt{E}$  in this report.

The data obtained by oscillograph on YAKUMOKAWA MARU and KIMI MARU (third voyage) were analyzed by manual reading.

##### 6.2 Values of $\sqrt{E}$ and Environmental Conditions

The values of  $\sqrt{E}$  of longitudinal wave bending stresses calculated by

above mentioned methods are shown in Tab.6.2.1 on SHOBU MARU and Tab.6.2.2 on KIMI MARU. The values of  $\sqrt{E}$  obtained by range counting and peak counting methods are closely coincide except a few cases. And most of them are rather small value as less than  $1.0 \text{ kg/mm}^2$ . Rather large stresses were observed in the third voyage of KIMI MARU.

The relation of the value of  $\sqrt{E}$  and sea state is shown in Fig.6.2.3, and the result of theoretical calculations using the strip method and I.S.S.C. wave spectra shows good coincidence on the average. Some results of these theoretical calculations are shown in Fig.6.2.4 ~ Fig.6.2.8.

### 6.3 Maximum Values

All the data in this section is not by computer processing but by manual analysis. A sample of the comparison of the maximum reading stresses by these different processing method is shown in Fig.6.3.2.

Frequency probability of maximum reading stress in each sampling time for 20 minutes is shown in Fig.6.3.1. The extreme maximum value of  $19 \text{ kg/mm}^2$  (p-p) on KIMI MARU seems to be somewhat remarkable.

The relation between the maximum value and wave height is shown in Fig. 6.3.3.

### 6.4 Springing Stress

Almost all of the record of wave bending stress of these three ships were superposed by rather remarkable springing stress, the frequency of which corresponded to the normal frequency of two node vertical vibration of ship's hull.

The frequency probability of the maximum reading of these springing stress were already shown in Fig.6.3.1. The extreme maximum value was  $10 \text{ kg/mm}^2$  (p-p).

Relation between the hog-sag wave bending stress and springing stress are shown in Fig.6.4.1 for SHOBU MARU and in Fig.6.4.2 for KIMI MARU. On the average, the springing stress range is about 30 % of the range of wave bending stress.

The value of  $\sqrt{E}$  of springing stress are plotted on the base line of wave height in Fig.6.4.3, with different marks for ballasted and full loaded conditions. No significant difference are shown in these two loading conditions.

### 6.5 Long Term Prediction

Using the  $\sqrt{E}$  data of KIMI MARU, we tried to predict the long term distribution of wave bending stress following to the method of Lewis<sup>(6)</sup>.

It is well known that the short term distribution of wave bending stress fits the Rayleigh distribution quite closely, which is specified by single parameter  $\sqrt{E}$ .

Wave height groups were used here instead of wether groups in Lewis's paper. It was assumed that the values of  $\sqrt{E}$  ( $\sqrt{E}$  was used here) of short term distributions distribute according to the normal distribution in each wave height group. The mean value of each normal distribution was assumed to be obtained by a quadratic function of wave height, and another parameter the standard deviation was assumed to be constant.

Fig.6.5.3 shows several kinds of prediction using different statistical

data of sea state (histograms of wave height) which are shown in Fig.6.5.4 ~ Fig.6.5.8. In the figure  $Q(Y, Y_j)$  means the total probability of stress range  $Y$  exceeding  $Y_j$  in all sea states. Dotted line is the long term prediction by Fukuda<sup>(7)</sup> for a oil tanker of nearly equal size to KIMI MARU in the North Atlantic Ocean.

## 7. LOCAL STRESSES IN WAVES

### 7.1 Frequency Distribution

Stresses induced by wave loads were measured at several points on upper deck, side frames, inner bottom plate, center girders and the corner of hatch opening. The details of results were described in the interim reports, and here the RMS of stress range at these points under typical sea conditions are shown as an example in Tab.7.1.1 and Tab.7.1.2.

The ratio of local stresses induced by wave loads at different points can be approximately estimated from these tables. The longitudinal distribution of wave bending stress on upper deck of SHOBU MARU is shown in Fig.7.1.1.

The relations between some of the local stresses and sea conditions are shown in Fig.7.1.2 ~ Fig.7.1.6. Beaufort wind scale and wave height are taken as the parameter of sea condition in these figures. Stresses of each points seem to be moderately increased with the increase of wave height and wind scale.

The effects of the wave encounter angle on local stresses are to be checked in Fig.7.1.7, but the stress seems to be not too much effected by the wave encountering angle.

### 7.2 Correlation

To investigate the correlation of ship motion and hull stresses, six items were chosen from the tests on KIMI MARU as shown in Tab.7.2.1. Tab.7.2.2 is the number and date of analyzed tests, and the upper part of Tab.7.2.3 shows the environmental conditions of these tests. Among them, No.1206,1207 and 1212 are the tests in ballasted condition, and No.1215,1218 and 1219 are in full loaded condition.

Typical examples of correlograms are shown in Fig.7.2.1 ~ Fig.7.2.3. Cross correlation coefficients in each case are shown in Tab.7.2.4, in which  $R_{t=0}$  means the cross correlation coefficient at a lag time  $T=0$ , and  $R_{\max}$  and  $T_m$  means the maximum value of cross correlation coefficient and the lag time corresponding to the maximum value respectively.

The energy spectra are arranged in Fig.7.2.4 ~ Fig.7.2.15 according to the test numbers and measured items respectively.

The period of pitching motion agree to the period of wave encountering pretty well. Pitching angles are large and have high cross correlation coefficient with wave bending stresses when the parameter  $\sqrt{L/\lambda}$  is small. The rolling motion has very low cross correlation coefficient with the other items.

Both of wave bending stresses on upper deck and stresses at the hatch corner have pretty high cross correlations with pitching motion as well as with each other.

The stress concentration ratio at the hatch corner varies with the sea

conditions, in which the wave encounter angle seems to be the most effective factor.

Stresses of side frame and of side shell show considerably large values in full loaded condition. Both have higher correlation with the pitching motion than with the roll.

In other hands, for the investigation of springing stress, data of six gages distributed longitudinally on upper deck of SHOBU MARU were processed. Three conditions shown in the lower part of Tab.7.2.3 were chose for example.

Fig.7.2.16 and Fig.7.2.17 show examples of correlograms of high frequency components of measured stresses. These figures imply the existence of one or two dominant frequency components. The energy spectra corresponding to above correlograms are shown in Fig.7.2.18 and Fig.7.2.19.

In Fig.7.2.18, two dominant frequencies are found to exist at about 42.5 cpm and 102 cpm. In comparison with the calculated values, the former corresponds to the second mode vibration and the latter the fourth mode vibration. Fig.7.2.21 and Fig.7.2.22 show the longitudinal distributions of energy density of the second and fourth mode vibrations.

The phase lags of stresses of six points in the fourth mode vibration is shown in Fig.7.2.23. This figure indicates that the fourth mode vibration propagates from stern to bow, while the second mode vibration is stationary.

### 7.3 Frame Structure Analysis

Fig.7.3.2 and Fig.7.3.3 show the calculated transverse stresses of SHOBU MARU in full loaded condition of alternate loading, and when the section is on the crest and trough of a wave of 6 m height statically. In this calculation, the water level was assumed to be even for the length of the calculated hold. The range of stress change by 6 m wave is shown in Fig.7.3.6. Corresponding results for uniform loading condition are shown in Fig.7.3.4, Fig.7.3.5 and Fig.7.3.7 ~ Fig.7.3.9.

Comparison of calculated and measured stress range in waves are shown in Fig.7.3.10 and Fig.7.3.11. They do not show good agree, probably because the rough assumption in the calculations.

### 7.4 Dynamic Pressure by Ore Cargo

Investigation of the effect of ship motion on the cargo ore pressure was tried. Fig.7.4.1 shows the sample of oscillograms reproduced from digital data recorder.

Range of variation of dynamic ore pressure induced by ship motion are very small, about 3 % of statical change by loading. The effect of roll on the dynamic ore pressure seems to be rather small than by pitch as shown in Fig.7.4.1.

## 8. CONCLUSIONS

## REFERENCES

## APPENDIX

# 大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験

## 目 次

1. まえがき	1
2. 試験の概要	2
2.1 試験船	2
2.2 試験方法	2
2.3 理論計算	3
3. 立体強度計算	4
3.1 概要	4
3.2 構造条件	4
3.3 計算結果と計測結果の比較	5
4. 海象、気象	6
4.1 調査項目	6
4.2 頻度分布	6
4.3 気象、海象の相関	7
5. 荷役時の応力	8
5.1 立体強度計算結果	8
5.2 荷役時の応力変化	8
6. 波浪縦曲げ応力	9
6.1 $\sqrt{E}$ の計算方法	9
6.2 $\sqrt{E}$ と外界条件	10
6.3 最大値の分布	11
6.4 振動応力	12
6.5 長期予測	12
7. 波浪中の局部応力	15
7.1 応力頻度	15
7.2 相関	15
7.3 立体強度計算	17
7.4 鉱石圧力	18
8. あとがき	20
文 献	23
附図・附表	24
附録 建造過程において行なわれた実船応力計測	134

## CONTENTS

1. PREFACE .....	1	
2. OUTLINE OF THE RESEARCH .....	2	
2.1 Vessels Tested .....	2	
2.2 Measuring Method .....	2	
2.3 Theoretical Analysis .....	3	
3. THREE DIMENSIONAL FRAME STRUCTURE ANALYSIS .....	4	
3.1 Outline .....	4	
3.2 Boundary Conditions .....	4	
3.3 Comparison of Calculated and Measured Values .....	5	
4. ENVIRONMENTAL CONDITIONS .....	6	
4.1 Measuring Items .....	6	
4.2 Frequency Distribution .....	6	
4.3 Correlation .....	7	
5. STRESSES INDUCED BY LOADING AND UNLOADING .....	8	
5.1 Results of Frame Structure Analysis .....	8	
5.2 Stresses by Loading and Unloading .....	8	
6. LONGITUDINAL WAVE BENDING STRESSES .....	9	
6.1 Calculating Method of $\sqrt{E}$ .....	9	
6.2 Value of $\sqrt{E}$ and Environmental Conditions .....	10	
6.3 Maximum Values .....	11	
6.4 Springing Stresses .....	12	
6.5 Long Term Prediction .....	12	
7. LOCAL STRESSES IN WAVES .....	15	
7.1 Frequency Distribution .....	15	
7.2 Correlation .....	15	
7.3 Frame Structure Analysis .....	17	
7.4 Dynamic Pressure by Ore Cargo .....	18	
8. CONCLUSION .....	20	
REFERENCES .....	23	
TABLES AND FIGURES .....	24	
APPENDIX	Full Scale Measurements of Ship Strength .....	134
	Conducted in Shipyards before Their Completion	

## 1. まえがき

最近の大型ばら積貨物船兼鉱石運搬船は、その構造配置、載貨状態等が従来の一般貨物船や小型鉱石運搬船とは著しく異なるため、船体構造強度に関して多くの特異な問題があるものと思われる。本研究は、これらの大型ばら積貨物兼鉱石運搬船の、波浪中航走時における船体に加わる荷重と船体応答、貨物荷役時の船体応力などを実船において計測し、就航中の実態、問題点の所在を明らかにして、構造強度検討の基礎資料を求めようとするものである。

日本造船研究協会は、日本船舶振興会の研究補助金の交付を得て、第118研究部会を組織し、昭和44年度から3ヶ年計画で本研究を実施してきた。計測は、昭和44年度川崎汽船の八雲川丸で2航海、昭和海運の昭武丸で2航海、昭和45年度大阪商船三井船舶の紀見丸で3航海、延べ7航海について実施し、昭和46年度は解析整理作業のみを行なった。

各年度の研究内容については、すでに各年度末の中間報告としてそれぞれ、

日本造船研究協会、研究資料、No.120、昭和45年3月<sup>1)</sup>

同 上 、No.135、昭和46年3月<sup>2)</sup>

同 上 、No.152、昭和47年3月<sup>3)</sup>

に発表したが、本報告はこれらを取りまとめ、さらに若干の新しい解析を追加して、3ヶ年に亘る研究の総合報告としたものである。

計測項目は、大別して静的計測と動的計測とし、静的計測は港内での荷積み時、荷揚げ時の船体各部の応力変動を求めるものであり、動的計測は航行中の波浪荷重に対する各種応答を計測するものである。

実測結果と比較対照するために、理論解析と電子計算機によって、荷役時の応力変動、波浪荷重の統計推定値、立体骨組構造モデルおよび有限要素法による横強度部材の応力計算なども行なった。

気象、海象については、本研究部会の7航海の計測結果だけでなく、これまで発表された他部会の観測結果も合わせて統計的検討を試みた。

## 2. 試験の概要

### 2.1 試験船

計測対象とした試験船は、川崎汽船の八雲川丸、昭和海運の昭武丸、大阪商船三井船舶の紀見丸の3隻で、いずれも6万トン級のばら積兼鉱石運搬船である。八雲川丸と昭武丸で各2航海、紀見丸で3航海の計測を行なった。各船の外観をFig. 2.1.1～Fig. 2.1.3に、主要要目をTab. 2.1.1に、試験期間および航路をTab. 2.1.2に示す。

### 2.2 試験方法

#### 2.2.1 計測項目および計測位置

本試験における主要な計測項目は、

- 1) 航海中波浪によって生ずる船体の動的応力
- 2) 鉱石等の荷役時の船体各部の静的応力

である。計測位置は各船によって若干異なるが、上甲板の曲げ応力のほか、ホッパー部・船側フレーム・二重底部分などの横強度部材の計測も多く行なった。

そのほか、昭武丸および紀見丸では、船体運動および船首部の青波打込み水圧の計測も試みた。気象・海象・船速その他の外界条件は、目視観測およびログブックの記事によった。

##### (a) 八雲川丸における計測点

八雲川丸における計測記録は、電磁オシログラフのみによっていたので、応力計測点もあまり多くはなく、Tab. 2.2.1に示すとおり、動的計測点10点、静的計測点22点である。表中、ゲージ①は応力頻度計用のゲージを示し、記号末尾のPは左舷側、Sは右舷側、Aは船尾側、Fは船首側のゲージであることを示す。上甲板の応力計測位置をFig. 2.2.1に、船倉内の計測位置をFig. 2.2.2に、また二重底内の計測位置をFig. 2.2.3に示す。

##### (b) 昭武丸における計測点

昭武丸においては、後述の多点記録装置を使用したので、計測点数を大巾に増加し、Tab. 2.2.2に示すように、動的計測点32点、静的計測点89点、計121点の計測を行なった。表中、ゲージ②は応力頻度計用、③はR.M.S.計用のゲージを示す。また、ゲージ記号中第1文字のDおよびSは動的および静的計測であることを示し、第2文字は計測部位を示し、末尾のP, S, A, Fはそれぞれ左舷、右舷、船尾、船首側であることを示す。上甲板応力計測位置および青波水圧計測点をFig. 2.2.4に、top side tank の計測点をFig. 2.2.5に、船倉およびフレームの計測点をFig. 2.2.6に、二重底の計測点をFig. 2.2.7に示す。

##### (c) 紀見丸における計測点

紀見丸における計測点数はほぼ昭武丸と同程度で、Tab. 2.2.3に示すとおり延べ102点である。上甲板の応力計測点および船首部の青波水圧計測点をFig. 2.2.8に、船倉内のフレーム及び外板の計測点をFig. 2.2.9に、船倉内底板およびホッパー部の計測点をFig. 2.2.10に、フレーム計測点をFig. 2.2.11に、二重底内の計測点をFig. 2.2.12に示す。

#### 2.2.2 計測装置

各船の計測に使用した主な計測および記録機器をTab. 2.2.4およびTab. 2.2.5に、計測記録のプロック図を

Fig. 2.2.1-3 および Fig. 2.2.1-4 を示す。

八雲川丸における計測は、計測点数も少なく手動解析を前提とした比較的簡単な方式で、動的計測は電磁オシログラフによる記録、静的計測は手動切換スイッチによる静歪測定器の読み取りによったものである。

昭武丸および紀見丸では、計測点も相当多いので、計算機処理を前提として、磁気テープに 30 エレメントの変動をデジタル記録する高速データ集録装置（岩崎通信機製、DATAC 1500）と 90 エレメントの自動計測印字を行なう静的デジタルひずみ測定装置（横河電気製）を使用した。これらの装置の詳細については前報<sup>1)</sup>を参照されたい。R.M.S.計<sup>4),5)</sup>は動ひずみ計の出力信号をアナログ演算して R.M.S. 値を求め、ペン記録器に入力信号とともに記録させる方式のもので、演算時定数は 1.00 sec とした。応力頻度計<sup>6)</sup>は振幅計数方式のもので、一定時間ごとに各段の度数計を読み取り記帳する方式である。

青波水圧計測用としては、さきに第 4 回研究部会<sup>7)</sup>で開発した簡易水圧頻度計および最高水圧計を使用した。

なお、紀見丸の第 3 次航のみは、記録装置を解析処理のため揚陸したのちに行なったので、電磁オシログラフによる記録と、R.M.S. 計の計測のみの簡単な方式とした。

### 2.2.3 計測方法

動的計測は、原則として 1 日 1 回定時に 20 分間の変動の連続記録を行ない、このほか、荒天時には同様の計測を随時追加して行なった。

応力頻度計、R.M.S. 計の計測は毎時 8 ~ 20 時の間 4 時間ごとに記録を行ない、さらに毎回 20 分間ずつの短期分布の計測も行なった。また、航海中 4 時間ごとの海象・気象・船速・出会い角などの外界条件の記録は、本船乗組員の協力によって一覧表として作製した。

静的記録としては、各港において荷役の開始から終了まで、一定時間（1 ~ 2 時間）間隔で、船体各部のひずみ、および関連する各部分の積載重量の変化、吃水変化などを計測記録した。

### 2.2.4 解析方法

主として目視観測による海象・気象その他の外界条件の遭遇頻度、風と波との相関などについては、今回の 3 隻の試験航海のみに限定せず、これまで他の研究部会で得られた観測結果も合わせて整理検討を行なってみた。

船体応答の動的計測結果については、高速データ集録装置の磁気テープに記録されたものは計算機処理によって、その他のものは手動解析によって、頻度解析、相関、スペクトラムの検討などを行なった。

静的計測結果については、荷重分布の変化との対応、後述の理論計算結果との対比などを行なった。

## 2.3 理論計算

航海中の波浪曲げモーメントについては、ストリップ法によって計算した応答関数を用いる方法で近似計算を行ない、I.S.S.C. の波浪スペクトルを用いて、不規則波中の統計値を計算した。船側および船底外板に働く波浪水圧についても同様に、ストリップ法と応答理論により計算した。

横強度部材については、簡単な立体構造モデルについての骨組構造計算と、有限要素法による計算とを、各種の積荷条件や波浪条件について行なった。

また、船体運動と鉛直圧の動的変動との関連についても、近似計算を行なって計測結果と比較検討した。

### 3. 立体強度計算

#### 3.1 概要

強度計算には、立体骨組構造解析プログラム FRAME を用いた。このプログラムは大型骨組構造を解析することを目的として開発されたもので、等断面部材よりなる立体骨組構造を、引張り・曲げ剛性のほか、剪断剛性、捩り剛性も考慮して解くものである。

現状では、電子計算機の能力から、ばら積貨物船のような複雑な構造を完全に置換することはできないので、ここでは次のような 2 段階の計算を行なった。まず、船体横断面を Fig. 3.1.1 に示すように簡単化し、◎の箇所に縦部材を通す。Fig. 3.1.2～3 に示す立体モデルで 3 hold について解き、中央部 transverse ring の変形および縦通部材からかかる力とモーメントを用いて、Fig. 3.1.4～5 のように詳細に分割したモデルで骨組構造計算を行なう。また、紀見丸については、Fig. 3.1.6 の分割で有限要素法による計算を行ない、各部の部材力および応力を求める。

解析は、昭武丸、紀見丸の 2 隻について行なった。

#### 3.2 構造条件

計算に際しては、荷重・構造とも左右舷で対称と考えた。また、応力計測時に昭武丸では計算対象となる hold の中央に着目し荷重が前後対称となるので Fig. 3.1.2 に示す 1.5 hold のモデルについて計算を行ない、紀見丸では前後非対称であるので、Fig. 3.1.3 に示す 3 hold のモデルで計算を行なった。

隣接 hold の横隔壁の位置における境界条件については、Fig. 3.2.1 に示す 3 種類を荷重により使いわけた。

部材定数のとり方を以下に示す。

##### (1) 縦通部材

###### (a) ガーダー

- 船底外板および内底板の有効幅 100 %
- 幅方向の断面 2 次モーメントは二重底全体の断面 2 次モーメントを、ガーダーの幅の割合で振分ける。
- 剪断有効断面積は、深さ方向に対してはウェブの面積 100 % (開孔無視)、幅方向に対しては船底外板および内底板の面積
- ねじり剛性の計算は Fig. 3.2.2 による。

$$\begin{aligned}\ell_B &= \frac{t_D}{t_B + t_D} \times \ell, & \ell_D &= \frac{t_B}{t_B + t_D} \times \ell \\ r_D &= \frac{\tau \ell_D}{L}, & \tau_D = g r_D &= \frac{g \tau \ell_D}{L}, & s_D &= \frac{g \tau}{L} \times \ell_D \times B \times t_D \\ r_B &= \frac{\tau \ell_B}{L}, & \tau_B = g r_B &= \frac{g \tau \ell_B}{L}, & s_B &= \frac{g \tau}{L} \times \ell_B \times B \times t_B\end{aligned}$$

したがって捩り中心 0 点回りのモーメント  $M_t$  は、

$$M_t = s_D \times \ell_D + s_B \times \ell_B = \frac{g \tau}{L} \times (\ell_D^2 t_D + \ell_B^2 t_B) \times B$$

捩り剛性  $GJ$  は、

$$GJ = M_t / \theta = \frac{M_t}{\tau / L} = (\ell_D^2 t_D + \ell_B^2 t_B) \times B \times G$$

となる。ここで  $\theta$  は単位長当たりのねじれ角 ( $\tau / L$ ) である。

- (b) Hopper tank および top side tank 縦通材
- Fig. 3.2.3 に示すように hopper tank および top side tank に縦通材を通している。
  - その部材のとり方は、Fig. 3.2.3 に示すように隣接部材の中間までをとり、それについて断面常数の計算をする。ただし、hopper tank および top side tank の斜板はすべて部材 A を含ませる。
  - 断面 2 次モーメントは、たとえば B 図に示す断面について求める。
  - 剪断有効断面積は B 図に示す断面の、断面積の船の幅方向および船の深さ方向の成分をとる。
  - ねじり剛性は零とする。他の縦通材についても同様である。
- (2) 横部材
- 外板の面内方向の剪断有効断面積は縦通材に入れているので、剪断変形を無視できる程度に大きくとる。
  - Floor の部材常数のとり方は、船の長さ方向の剪断有効断面積を除いてガーダーの場合と同じである。
  - Hopper tank および top side tank の横部材の外板および内底板の有効幅は、Schade の式により求める。ねじり剛性は零とする。
  - フレームの外板の有効幅は 100 % とする。ねじり剛性は零とする。
- (3) 横隔壁の部材
- 横隔壁は Fig. 3.1.2 ～ 3 に示すように、水平方向に甲板位置、船底位置およびその中間の部材、垂直方向には縦通材が通る位置に配する。
- 横隔壁の変形は深さ方向にのみ許し、幅方向は無視する。ただし軸力による幅方向の変形は考慮する。

### 3.3 計算結果と計測結果の比較

応力計測を行なった時の積付状況のうち昭武丸に対するものを Tab. 3.3.1、紀見丸に対するものを Tab. 3.3.2 に示す。

計測応力は荷積後と荷積前の差および荷揚前と荷揚後の差で求められる。立体強度計算結果のうち骨組構造解析によるものを Fig. 3.3.1 ～ Fig. 3.3.5 に示す。

紀見丸については対応する計測値も図に示したがほぼ一致している。昭武丸については、対応する計測値がないので示していない。

また、紀見丸についてはさらに有限要素法による解析を行なった。結果を Fig. 3.3.6 ～ 7 に示す。内底板や面材に生じる応力は骨組構造解析結果とはほぼ一致している。Hopper tank における計算応力と計測応力の比較を Fig. 3.3.8 に示す。これによると、計算応力と計測応力は比較的よく一致している。

## 4. 気象、海象

### 4.1 調査項目

調査項目は、風力、風速、風向、うねり階級、うねり波高、うねり波長、うねり周期、出会い角度、風浪階級、風浪波高、風浪周期および船速の12項目としたが、海象関係は欠落しているデータが多く充分な統計量にならなかった。調査の方法は、すべて航海日誌に記入された各定時の記録を1組のデータとして用いた。また上記の項目相互の関係は航路に関係なくまとめ、頻度分布については航路別項目別にまとめた。本研究の計測期間中の気象、海象の生データは中間報告に詳細に掲げてある(研究資料第120<sup>1)</sup>、第135<sup>2)</sup>)。

本節では航路別に遭遇する海象の統計的解析を試みた。そのため本研究部会で計測した3隻のほかに、手元にある同様の資料(第49<sup>9)</sup>、63<sup>11)</sup>、99<sup>6,7,8)</sup>、124<sup>14)</sup>研究部会、その他<sup>10,12)</sup>)をも加えて統計量の不足をおぎない精度の向上を図った。

航路の分類については、北太平洋航路、南米西岸航路、豪州航路およびアラビア航路の4つを選択し、これをTab. 4.1.1に調査対象船も含めて記載した。表にみるとおり、各航路とも冬期の計測資料が多く、年間平均の状態とはいかが異ったものを示す可能性はある。

### 4.2 頻度分布

頻度分布の集計にあたっては、風速は3m/s、うねり波長は30m、うねり周期は3secごとに区分けすることとした。また、風向と出会い角の区分は、Fig. 4.1.1に示すとおりとした。

Fig. 4.2.1、4.2.2に八雲川丸、昭武丸および紀見丸の3隻によるBeaufort風力階級および波高(うねり)の全航海について航海ごとと合計の頻度分布を示した。昭武丸の2次航では台風に遭遇し、また、紀見丸3次航では大時化に遭っている。

Fig. 4.2.3～4.2.11に各航路別の気象、海象の頻度分布を示す。各航路とも各航1日当たりのデータ数が異なるため(1日1回～16回まで)重みをかけて以下の方法で処理をした。すなわち各船各航ごとに頻度数を求めたのちに百分率を求め、これに重みをかけたうえで加え合わせ、改めて百分率を求めるとしたものである。

Fig. 4.2.3のBeaufortは各航路とも中央値4、最大値10でほぼ同じ傾向を示している。風浪階級もBeaufortとほぼ同じ傾向であるが南米航路のみ5以上は激減している。これはFig. 4.2.4のうねり階級でも小さく、全般的に穏やかな日が多いためと思われる。また、豪州航路のうねりが小さいのは途中島が多く、充分波が発達しきれないためと思われる。

波長、波高は、風浪とうねりとがはっきり区別できない場合も多く、また、原データで欠落している部分も多いので、ここでは風浪波高とうねり波長のみをFig. 4.2.5に示した。うねり波長は150m未満の波が殆どで全体の約9割をしめている。北太平洋航路では長波長の波がやや多い。

Fig. 4.2.6のうねり周期は各航路とも6～12秒に中央値があり、12秒以内に約8割～9割集中しているが、南米航路のみ9秒以上にかたよっている。

Fig. 4.2.7、4.2.8に示す風向は、北太平洋航路は追風が多く、豪州航路では斜め右前方および斜め左後方方向が極めて多い。これは常に南西の風が吹いているためと思われる。また、アラビア航路はほぼ均一の方向から吹いているが、途中まで豪州航路とはほぼ同じ航路をとることから、インド洋、アラビア海では東南または北西の風が多く吹いているものと思われる。

Fig. 4.2.7、4.2.9に示す出会い角は北太平洋では前方からの波が多く、南米航路も前後方向の波が多く、両航路とも横からの波が極めて少ない。これは黒潮および偏西風の影響とも思われる。豪州航路は風向とほとんど一致している。

船速は北太平洋航路で14kt以下が約10%あり、時化に遭遇する日の多いことがわかる。南米航路はほとんど速度

低下はなく平穏な航海を示している。アビア、豪州航路は時々時化に遭っているようである。

#### 4.3 気象、海象の相互の関係

各項目ごとの組み合わせによる相関表の一部を Tab. 4.3. 1 に示す。ここでは北太平洋と豪州のみで傾向を調べてみた。船速と風力の関係は、ある程度風力が増しても船速は低下せずに一定の速さを保って、ある風力までくると急に低下することを想定し、その限界をみようとしたが明瞭でなかった。これは貨物船と鉱石船の航海速度が異なるためと思われる。

Fig. 4.3. 1 に風力と波高の関係を示す。図中に示した W.M.O. (World Meteorological Organization) の破線と比べてかなりばらつくがほぼ似た傾向を示している。ばらつきの原因は観測誤差によるものが大きいと思われる。×印は平均値を表わし、W.M.O.の線（破線）より風力が小さいところでは波高がやや高いがかなりよく合っている。平均値を連ねた実線を3次式で近似すると、風力 ( $B_S$ ) と波高 ( $H$ ) の関係は大体、

$$H = \frac{1}{100} ( 0.5 B_S^3 - 0.8 B_S^2 + 40 B_S + 70 )$$

となっている。

なお、図中の小さい白丸1個は1データ、大きい白丸1個は10データを意味するものとした。

Fig. 4.3. 2 に波高と波長との関係を示す。これもきわめてばらつきが多いが、平均的には Neumann-Pierson<sup>15)</sup> の関係式から導いた線（図中実線）と合っているようである。

## 5. 荷役時の応力

### 5.1 立体強度計算結果

荷役時の種々な状態に対する検討を、立体強度計算結果から行なった。

#### 1) Ballast condition

荷積前および荷揚後のバラスト状態に対する骨組構造解析結果を Fig. 5.1.1～Fig. 5.1.4 に、また有限要素法による解析結果を Fig. 5.1.5、Fig. 5.1.6 に示す。

Top side tank の trans. ring には、バラストをはっているため、 $10 \text{ kg/mm}^2$  程度の応力が生じているほかは全体に応力は低くなっている。

#### 2) Uniform loading condition

紀見丸では、貨物が石炭であったため uniform loading になっている。この状態に対する骨組構造解析結果を Fig. 5.1.7、Fig. 5.1.8 に、また有限要素法による解析結果を Fig. 5.1.9、Fig. 5.1.10 に示す。

石炭による荷重と水圧とがほぼつり合つたため、バラスト状態より応力が小さくなっている。

#### 3) Alternate loading condition

昭武丸においては、貨物が鉄鉱石であったため、応力計測状態が alternate loading となっている。また、紀見丸については alternate loading の設計状態について計算を行なった。骨組構造解析結果を Fig. 5.1.11～Fig. 5.1.15 に、また有限要素法による解析結果を Fig. 5.1.16、Fig. 5.1.17 に示す。

この図から、alternate loading が最もきびしく、特にフレームや hopper tank trans. ring 等に大きな応力が生じている。また、紀見丸では、空倉と鉱石倉について計算を行なった。空倉では、フレームの曲げ応力が大きく、鉱石倉では hopper tank trans. ring の剪断応力、曲げ応力が大きな値になっている。

### 5.2 荷役時の応力変化

荷役時に一定の時間間隔でひずみの計測を行ない、その変化の様子をつかんだ。以下では、甲板の応力について解析を行なう。

Fig. 5.2.1、Fig. 5.2.2 に積付状態の変化を示す。また、各状態に対し計測された応力の変化を Fig. 5.2.3、Fig. 5.2.4 に示す。

次に、単位時間当たりの積付量およびバラスト排出量が一定であると仮定して船体に生じる曲げモーメントの変化を求め、梁理論により甲板に生ずる応力を計算した。結果を Fig. 5.2.3、Fig. 5.2.4 に示す。計測値と計算値の差は最大で $2 \sim 4 \text{ kg/mm}^2$  程度あり、この差は時間とともに変化しているが、全体の傾向はかなり一致しているといえる。差が時間とともに変化する原因としては、船体の片側から陽があたったために生じる曲げひずみや、貨物積付量やバラスト排出量の推定値と実際の値との間に差があることなどが考えられる。

## 6. 波浪縦曲げ応力

### 6.1 $\sqrt{E}$ の計算方法

一般にデータ集録装置の再生出力から計測応力の変動曲線を描かせると、Fig. 6.1.1 のようになる。これらのデータから 2 乗平均値として求めた  $\sqrt{E}$  の計算方法は次の通りである。

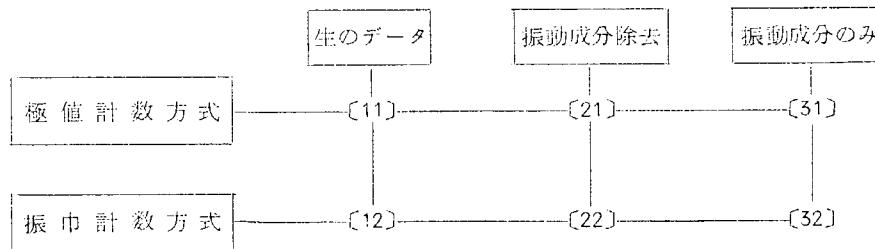
データ記録は等時間隔にとり、デジタル化したものであるが、500 または 250 Hz という周波数で 30 チャンネルを走査しているので、1 チャンネル当り毎秒 1.6.5 または 8.3 回の記録がとれている。したがって船体の垂直振動などによる振動応力の重畠した応力変動を十分正確に再現することができる。

大型船では、whipping または springing として、この振動成分が問題となっているので、これを周波数の低い波浪曲げの成分と分離して処理できる新しいプログラムを開発した。処理はすべて電子計算機でデジタル処理したものであるが、説明をアナログ化した Fig. 6.1.1 について行なうこととする。ここでは、データ集録装置の零電圧をかりに応力の平均値とみなし、のちに補正を行なった。

Fig. 6.1.1 に示すように、生のデータから [1.1]、[1.2]、[2.1]、[2.2]、[3.1]、[3.2] の 6 種の頻度計数方式により応力頻度を求めた。

- [1.1] 振動成分を含んだままの生のデータで、平均値から極大値（山）までの値を計数する極値計数方式（都合で極小値はとらなかった）
- [1.2] 同上のデータについて、peak to peak（谷から山まで）の複振巾を計数する振巾計数方式
- [2.1] 振動成分を除去した hog-sag の波浪曲げの変動成分のみについての極値計数方式
- [2.2] 同上のデータについての振巾計数方式
- [3.1] 波浪曲げの低周波変動を除去した振動成分のみについての極値計数方式
- [3.2] 同上のデータについての振巾計数方式

すなわち、分類記号 [1.1] 等の第 1 の数字の 1 は振動成分を含んだ生のデータ、2 は振動成分を除去したもの、3 は振動成分のみのデータであることを示し、第 2 数字の 1 は極値計数 (peak-count) 方式、2 は振巾計数 (range-count) 方式であることを示す。



以上の各種の計数方式について、20 分間の頻度分布、2 乗平均値および最大値を求めた。頻度分布において計数する振巾のレベル幅は、紀見丸については極値頻度で  $0.5 \text{ Kg/mm}^2$ 、振巾頻度で  $1.0 \text{ Kg/mm}^2$  とし、昭武丸については極値頻度で  $0.2 \text{ Kg/mm}^2$ 、振巾頻度で  $0.4 \text{ Kg/mm}^2$  とした。また、図中に A で示したような  $0.1 \text{ Kg/mm}^2$  以下の微小な変動は、無効振巾として計数から除外することとした。

計測した変動応力の平均値を正確に求めることは不可能であるので、当初に述べたよりまず計器の零を仮に平均値と假定し、この補正として、解析を行なう 20 分間の計測値について、極大値を計数すると同時に和を求めてその総個数で除して平均値を求め、これを近似的に平均応力の基準線と考えて補正を行なった。

2 乗平均値については、この零の補正量を計算された 2 乗平均値の平方根より差引いて補正を行なった。

これまでの多くの実船計測の結果から実証されているように、応力の極値の短期分布が Rayleigh 分布に適合する

ものとすれば、各計数方式における2乗平均と $\sqrt{E}$  ( $E$ は累積エネルギー密度)との関係は Fig. 6.1.2 のようになる。

すなわち、極値頻度方式では、

$$\sqrt{E} = \sqrt{x_i \text{ の } 2\text{乗平均}} = \text{RMS of stress amplitude}$$

振巾頻度方式では、

$$\sqrt{E} = \sqrt{y_i / 2 \text{ の } 2\text{乗平均}}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{y_i \text{ の } 2\text{乗平均}} = \text{RMS of stress range}$$

等時間隔サンプリング方式は、

$$\sqrt{E} = \sqrt{2(x_i \text{ の分散})}$$

$$= \sqrt{2} \sqrt{x_i \text{ の } 2\text{乗平均}} = \sqrt{2} (\text{RMS of } x_i)$$

$$= \sqrt{2} (x_i \text{ の標準偏差}) = \sqrt{2} (\text{standard deviation of } x_i)$$

なお、R.M.S.計はアナログ計算機ではあるが、原理的には等時間サンプリングの2乗平均の平方根を求めるのと同等の演算を行なうものである。

すなわち、

$$\sqrt{E} = \sqrt{2} \sqrt{\text{等時間隔サンプリングの } 2\text{乗平均}}$$

$$= \sqrt{2} \times \sqrt{\int_0^T x^2 dt / T}$$

の関係を仮定して、計算した $\sqrt{E}$  である。

### 3.2 縦曲げ応力と外界条件

計測したデータからの解析方法は前提に示したとおり、springing あるいは whipping による振動成分を含んだ生のままのデータである〔11〕と〔12〕、この振動成分を除いた hog-sag の波浪曲げの変動成分〔21〕と〔22〕、および振動成分のみの〔31〕と〔32〕の3種類について求めた。

これらの応力の中でも最も注目されるのは、〔21〕および〔22〕で示される hog-sag の波浪曲げの変動成分であり、また、大型船の特徴としての springing の振動成分〔31〕、〔32〕である。このうち〔21〕、〔31〕は Fig. 6.2.1 および Fig. 6.2.2 に示す極値、すなわち平均値から極大または極小値までの片振巾であり、〔22〕、〔32〕は波形の極小値から極大値あるいは極大値から極小値までの変動（複振巾）を示すものである。

一般に上甲板上の縦曲げ応力には、hog-sag による応力に比較して無視できない程度の振動応力が常時重畠して記録されている。これら周期の異なる変動成分の分離は、DATA C で記録をとった昭武丸と紀見丸については計算機処理によって十分の精度で行なうことができた。船体中央部の上甲板上の縦曲げ応力の主要な計測結果を、昭武丸については Tab. 6.2.1 に、紀見丸については Tab. 6.2.2 に示した。

実験計測時の海象は両船とも大体同じ程度であり、波高 1.0 m 程度が 1、2 回あるほかは、大体波高 2 ~ 5 m 程度である。このような海象の変化による縦曲げ応力の変化は Fig. 6.2.1 および Fig. 6.2.2 のようになっている。

これらの表あるいは図からわかるように、一般に極値方式によって計数した $\sqrt{E}$  の値と、複振巾方式によって計数した $\sqrt{E}$  の値は、かなり近い値となっている。ただし、生のままのデータである振動成分を含んだものについては、両方式によって計算された値にかなりの差があり、当然のことであるが振動成分を除去してデータの処理を行なうことの必要なことがわかる。

Hog-sag だけの変動成分を示す〔21〕および〔22〕で示す $\sqrt{E}$  の値は、ほとんどが 1.0 kg/mm<sup>2</sup> 以下の値を示し、かなり小さい応力であった。しかし紀見丸の第 3 次航においては、連日のように荒天に遭遇し、 $\sqrt{E}$  の値は最高 3.4 kg/mm<sup>2</sup> に達している。

Fig. 6.2.1 および Fig. 6.2.2 は海象のパラメーターとして風力階級、波浪階級、波高および波長をそれぞれとて

示したものであるが、 $\sqrt{E}$  の変化はこれらの海象に対しかなりバラついてはいるが、どちらかというと波高に対する相関性の方がよりはっきりしているように思われる。

Fig. 6.2.3 は各種の方式で求めた $\sqrt{E}$  の値のうち、[22] から得られた $\sqrt{E}$  を、紀見丸、昭武丸および八雲川丸の結果について、Beaufort 風力階級に対して示したものである。これをみると、比較的平穏な海象においては紀見丸より昭武丸の方がやや大きい応力を示しており、反対に荒天時には紀見丸の方が大きくなる傾向である。八雲川丸の波浪曲げ応力は、これら 2 船の結果と大差ない値を示している。

波浪曲げ応力 ( $X$ ) の振幅の RMS である $\sqrt{E}$  の代りに、無次元波浪曲げモーメント ( $\bar{M}$ ) の振幅の RMS を $\sqrt{\bar{E}_M}$  としてこれと海象との関係をプロットしたものが Fig. 6.2.4 である。ここに無次元波浪曲げモーメントは、

$$\bar{M} = \frac{M}{\rho g L^3 B} = \frac{ZX}{\rho g L^3 B}$$

で表わされる量である。<sup>1)</sup> ここで、 $M$  は波浪曲げモーメント、 $\rho$  は水の密度、 $g$  は重力の加速度、 $L$  は船の長さ、 $B$  は船の幅、 $Z$  は断面係数 ( $I/y$ ) である (Tab. 6.2.3)。

また、これらの計測値を、昭武丸についての理論計算によって求めた各海象に対する波浪曲げモーメントの値と比較した。計測値は比較的平穏な海象では計算値より大部分が小さい値であるが、荒天時においては計測値はばらつきが激しいが、その平均値は計算値とかなり近いところにあると考えられる。

計算は昭武丸について軽荷と満載状態で行なったものであるが、紀見丸および八雲川丸は船型等がかなり類似しているので、その計算値は昭武丸の計算値にかなり近いものと考えられる。

Fig. 6.2.4 ~ Fig. 6.2.8 は昭武丸について行なった理論計算について、使用した船体の重量分布と、ストリップ法によって求めた船体中央の波浪曲げモーメントの応答函数およびその標準偏差を示したものである。

### 6.3 最 大 値

船体中央上甲板の波浪曲げ応力変動 (peak to peak) の最大値の確率頻度を Fig. 6.3.1 に示す。いずれも、毎日 8、12、16 および 20 時の 4 回、毎回 20 分間ずつ計測したうちの最大値をそれぞれ 1 個ずつとったものである。

八雲川丸の場合は、応力頻度計で計数されたうちの最高レベルの中央値をとった (44 年度報告<sup>1)</sup>、表 3.1.1)。昭武丸および紀見丸では、R.M.S. 計の計測時にモニター用として記録したオシログラムを手動解析したものである (44 年度報告<sup>1)</sup>、図 3.3.5 および 45 年度報告<sup>2)</sup>、図 3.3.5)。

すなわち、昭武丸と紀見丸の場合は、Fig. 6.1.1 の計算方法のうち [2.2] のようなやり方を手動で行なったわけであるが、この結果と DATA C の記録を計算機処理した結果の比較を紀見丸の場合について行なってみると (45 年度報告<sup>2)</sup>、表 3.3.1)、Fig. 6.3.2 のようになり、振動成分を含んだままのもので range count を行なった [1.2] の方式によるものの値に近いようである。同じ位置の同時刻の変動と同じ原則で解析したものは一致するはずではあるが、手動解析と計算機処理で、読み取り精度、無効振巾の設定値などが異なるので止むを得ないことと思われる。紀見丸 3 次航では DATA C の記録がないので、統一をとるためここではすべて手動解析結果を用いることとした。

八雲川丸の場合は、電子管式の range count 方式の応力頻度計で計数したもので、Fig. 6.1.2 の B 図のような考え方である。大きい振動成分が重畠している場合には、振動波形の peak to peak を測って、目的とする波浪曲げの変動を見逃してしまうおそれがあるので、ここに求めた最大応力は実際よりいくらか小さくている傾向があるものと考えられる。

このような、最大値分布を検討するには、毎日 1 データずつ数年間の連続測定というような、予想されるあらゆる外界条件がすべて含まれるようなをわめて長期間の計測データが必要である。ここに示したのは、それぞれ 1 ~ 3 航海だけの計測結果であるので、外界条件の分布が長期間に想定されるものとは相当異なっている可能性がある。

また、総数数百個程度のデータからでは、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$  程度の最大値が推定できるといつに止まる。また、載荷状態

とバラスト状態とを分けて整理することも望ましいが、データ不足のためここでは両者を合わせたもので整理した。

Fig. 6.3.1 でみる限りでは、比較的荒天に遭うことの少なかった昭武丸では、あまり大きい最大値は現れておらず、 $8 \text{ Kg/mm}^2 (p - p)$  程度が数箇表われているだけであるが、八雲川丸と紀見丸ではほぼ類似の傾向を示し相当大きい特異値が出ている。さきに 6.2 節でもみた通り、荒天時には  $\sqrt{E}$  も相当大きい値を示すことがあり、近似解析計算で想定されるよりもはるかに大きい場合もあった。最大値でもこの程度の期間で 15 または  $19 \text{ Kg/mm}^2$  という値の出現は、これまでの実船計測では経験しなかったことで、応力集中の大きい部分での値を考えると注目していいことと考えられる。

毎日正午の 20 分の計測中の最大応力変動 ( $p - p$ ) と、そのときの観測波高(有義波高)との関係をプロットすると Fig. 6.3.3 のようになる。波高  $4 \sim 5 \text{ m}$  以上では両船はほぼ同じ傾向を示すが、それ以下の海象では、昭武丸の最大応力の方が大きい。この傾向は、さきに示した Fig. 6.2.3 に示した  $\sqrt{E}$  と海象との関係でも同様に表われている。

#### 6.4 振動応力

船体中央上甲板の波浪曲げ応力には、Fig. 6.1.1 に示したように Springing 現象による振動応力が重畠していることが多い。いずれもスラミング現象などとは関係なく、比較的平静な海面状態の場合でも、船体 2 節振動の固有振動数に相当する  $40 \sim 50 \text{ cpm}$  程度の振動応力が重畠している。

各定期計測時におけるこれらの振動応力の  $\sqrt{E}$  および最大値については、すでに Tab. 6.2.1、Tab. 6.2.2 に表示した。

この振動成分のみを取出して、前節と同様に各測定期の最大値の頻度分布をプロットしたものが、前述の Fig. 6.3.1 に併記してある。昭武丸の場合に、波浪曲げ応力に対する比率が紀見丸よりもいくらか高いようにもみられるが、振動応力の値そのものには大差はない。1,000 回に 1 回 (ここでは 250 回に 1 回) 程度ではあるが、peak to peak の複振巾で  $10 \text{ Kg/mm}^2$  近い振動応力を生ずるということになる。応力集中度の高い所では 2 ~ 3 倍の応力は生ずると思われる、疲労強度についても若干の考慮を払う必要があるものと思われる。

波浪曲げの hog-sag の応力と振動応力のそれぞれ最大値の関係をプロットしたものが、Fig. 6.4.1 および Fig. 6.4.2 である。きわめてばらつきが大きいが、平均的には振動応力は波浪曲げ応力の 30 % 程度となっているようである。ただし、昭武丸の場合、波浪曲げ応力が  $2 \text{ Kg/mm}^2 (p - p)$  程度の平穏に近い場合に、ほぼ同程度の振動応力が発生していることが多いのが目立つようである。

各短期分布の  $\sqrt{E}$  (片振巾の RMS) を波高に対してプロットしたものを Fig. 6.4.3 に示す。実線は概略的な平均線、破線は大体のばらつき範囲を示すものであるが、昭武丸、紀見丸ではほとんど差がない。一般にバラスト状態で springing が大きいといわれているが、図でみる限りでは満載状態と有意の差はないようである。

#### 6.5 波浪曲げ応力の長期分布の予測

昭武丸、紀見丸の航海中の変動応力については、すでに頻度解析が行なわれ、その  $\sqrt{E}$  が、代表的な気象、海象のパラメータについて整理されている。ここでは、これらの結果を用いて船体の縦曲げ応力の長期分布の予測を考える。実船計測結果あるいは模型実験結果による縦曲げ応力の予測についてはいくつかの論文が発表されているが、ここでは Lewis の方法<sup>16)</sup>にしたがって長期分布を予測する。

対象船として紀見丸をとる。同船では 4 ヶ月にわたって計測が行なわれており、計測は原則として 1 日 1 回 (うち 1 ヶ月は 1 日 4 回)、定刻に 20 分間行なわれた。ここで使用する解析結果は、生の計測データから船体振動成分を除いた成分に関するものである。

船体の波浪曲げ応力の短期分布はいわゆる Rayleigh 分布によく合うことが知られている。すなわち、波浪曲げ応力振幅 ( $X$ ) の RMS を  $\sqrt{E}$  とすると (Fig. 6.1.2)、 $X$  が  $(X, X+dx)$  の値をとる確率を  $p(X) dx$  とすると、

$$p(x) = \frac{2x}{E} e^{-x^2/E} \quad \dots \dots \dots \quad (6.5.1)$$

の関係が成立つ。この短期分布の特性はただ一つのパラメータ  $E$  のみによって決まるので、各短期分布の  $E$  または  $\sqrt{E}$  を求めておけば、必らずしも生のデータを取扱う必要がなくなる。

船体応力はその平均値が長周期の変動をするので、長期にわたる計測でその平均値を正確に測ること、したがって平均値からの応力振幅 ( $X$ ) を正確に測ることが難しい。したがって、peak to peak の応力変動 ( $Y$ ) のみに着目して、その RMS を  $\sqrt{E}$  とし、船体応答のような比較的エネルギースペクトルの帯域巾の狭い現象では、

$$\sqrt{E} = 2\sqrt{E}, \quad p(Y) = \frac{2Y}{E} e^{-Y^2/E} \quad \dots \dots \dots \quad (6.5.2)$$

の関係が成立つものとして処理することが多かった。Lewis らもこの手法に従っているので、ここでも  $\sqrt{E}$  の代りに  $\sqrt{E}$  を用いることにする。

Lewis は計測値の  $\sqrt{E}$  と Beaufort 風力階級との関係をプロットし、さらにこの図の風力階級をいくつかのグループにまとめて気象グループ (weather group) とし、各グループにおいて  $\sqrt{E}$  は正規分布することを示している。すなわち、

$$f(\sqrt{E}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s^2} e^{-(\sqrt{E}-m)^2/2s^2} \quad \dots \dots \dots \quad (6.5.3)$$

となる。ここで、

$m$  :  $\sqrt{E}$  の平均値

$s$  :  $\sqrt{E}$  の標準偏差

である。

さらに、風力の大きい部分に相当するグループに対しては、データ数が少ないため信頼性が低いとして、各グループの  $\sqrt{E}$  の平均  $m$  を Beaufort scale に對し直線で外挿し、 $s/m$  は風力の小さい部分と等しいと仮定することによって、 $\sqrt{E}$  と外界条件のパラメータ、Beaufort 風力または気象グループとの関係を決めている。

一方、Fig. 6.2.3 中の紀見丸の計測点は、甲板上の縦応力 (DD-4) の  $\sqrt{E}$  (R.M.S.  $\sigma_u$ ) を Beaufort 風力により整理したものである。これを Lewis の図と比較するとわれわれの場合は計測値がかたよっているらしいこと、計測回数が不十分らしいことが推測される。

そこで、別の適当な外界条件のパラメータを考えよう。これまでの解析結果によれば、一般に  $\sqrt{E}$  は、うねりの波高をパラメータとして整理した場合に比較的にまとまった傾向を示しているようであるが、Fig. 6.5.2 の紀見丸の縦曲げ応力の場合にも同じことがいえる。したがって、ここでは外界条件のパラメータとしてうねりの波高をとり Beaufort 風力による場合と同様の方法により、 $\sqrt{E}$  との関係を求ることにする。

初めに、波高を下記のようなグループに分け、各グループ内において  $\sqrt{E}$  は正規分布し、同様に (6.5.3) 式が成立するものと仮定する。

波高グループ	波高 ( $m$ )
1	0 ~ 0.75
2	0.75 ~ 1.75
3	1.75 ~ 2.75
4	2.75 ~ 3.75
5	3.75 ~ 5.75
6	5.75 ~ 7.75
7	7.75 ~ 9.75
8	9.75 ~ 11.75

$m$ ,  $s$  は各グループごとの計測データから決定するが、Fig. 6.5.3 から明らかのように計測は波高の低い方の非常に狭い範囲に集中しており、外挿もかなりの任意性を有している。いま、各グループの  $\sqrt{\bar{E}}$  の平均、 $m$  とうねりの波高の関係を原点を通る 2 次曲線で近似し、定数は最小 2 乗法により決定することにすると、各グループの  $m$  は  $H_s$  をうねりの波高として次式より決められる。

$$m = 0.20 H_s + 0.025 H_s^2 \quad \dots \quad (6.5.4)$$

次に  $s/m$  は、Lewis にならって一定とし、波高グループ 2, 3, 4, 5 の平均を用いることになると、

$$s/m = \text{const} = 0.267 \quad \dots \quad (6.5.5)$$

となる。これで (6.5.2) ~ (6.5.4) 式により、応力と  $\sqrt{\bar{E}}$ ,  $\sqrt{\bar{E}}$  と波高グループの関係が求められたことになる。

いま、波高グループ (i) において、ある  $\sqrt{\bar{E}}$  に対する  $Y$  の確率分布  $P(Y)$  は、

$$P(Y) = p(Y) \cdot f(\sqrt{\bar{E}}) \quad \dots \quad (6.5.6)$$

次に、 $Y$  が  $Y_j$  より大きい値をとる確率は次式より求められる。

$$\begin{aligned} Q_i(Y > Y_j) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{Y_j}^{\infty} p(Y) \cdot f(\sqrt{\bar{E}}) dY \cdot d\sqrt{\bar{E}} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-Y_j^2/\bar{E}} \cdot f(\sqrt{\bar{E}}) d\sqrt{\bar{E}} \quad \dots \quad (6.5.7) \end{aligned}$$

$Q_i(Y > Y_j)$  は波高グループ (i) において、 $Y > Y_j$  となる確率である。Fig. 6.5.2 は紀見丸について、この  $Q_i$  をプロットしたものである。この図の見方は、例えば、ある波高グループ (i) に関して応力  $Y_j$  に対する確率  $Q_i(Y > Y_j)$  が  $1/N$  であるとすれば、これは  $N$  回の曲げ応力の最大値が越えるであろうところの期待値が  $Y_j$  であるという意味である。

次に、この船が出会う波高の頻度分布が分かれば、全波高グループに対して、曲げ応力  $Y_j$  の確率  $Q(Y > Y_j)$  が求められる。即ち、 $\phi_i$  を波高グループ (i) に出会う確率として、

$$Q(Y > Y_j) = \sum_{i=1}^N \phi_i Q_i(Y > Y_j) \quad \dots \quad (6.5.8)$$

Fig. 6.5.3 は紀見丸に関して、Fig. 6.5.4 ~ 7 の海象に対する計算結果を示す。Fig. 6.5.4 は紀見丸の 3 航海の海象である。Fig. 6.5.5, 6.5.6 は過去の実船試験の海象の平均である。これらは Fig. 4.2.4 から引用したものである。Fig. 6.5.7 は山内等<sup>18)</sup>による太平洋の平均の海象である。Fig. 6.5.8 は福田の計算<sup>17)</sup>に用いられた北大西洋の波高頻度である。

図中に紀見丸の 3 航海の計測における最大値  $17.0 \text{ Kg/mm}^2$  を示している。この値は、紀見丸 3 航海の海象を用いた予測値よりもかなり低いが、これは計測期間が短かいこと、また、最大値を生じた計測の  $\sqrt{\bar{E}}$  が  $\sqrt{\bar{E}}$  の平均値  $m$  に近いこととも関係がありそうである。

さらに、この実測値は、過去の実船実験のデータから求めた北太平洋航路 (Fig. 6.5.5)、蒙州航路 (Fig. 6.5.6) の波高頻度による予測値にかなり近い。もし、20 年間の航海に対する最大値を予測曲線より求めると、北太平洋航路、蒙州航路に対し、それぞれ  $26.7, 23.4 \text{ Kg/mm}^2$  になる。

また、Fig. 6.5.3 には、福田による北太平洋のタンカーに対する予測値<sup>17)</sup>を示している。この計算に対応する波高頻度は Fig. 6.5.8 に示されている。

## 7. 波浪中の局部応力

### 7.1 応力頻度

八雲川丸、昭武丸および紀見丸の各船において、船体の縦応力のほか、上甲板上においては前後方向の位置、倉口隅部および倉口間隔壁上などにおいて、船倉内においては船倉フレーム、二重底上および二重底内のガーダー、フロアなどにおいて船体の各部の動的応力を計測した。

これらの計測結果の詳細については、これまでの各年次の中間報告書<sup>1,2,3)</sup>に示されているが、昭武丸と紀見丸について代表的な数条件の海象における各局部応力計測位置における極値方式における応力振幅の RMS ( $\sqrt{E}$ ) を示してみると、Tab. 7.1.1 および Tab. 7.1.2 のようになっている。

これらの表から、各船体の代表的構造部分における波浪による船体応力変動量の大きさおよびそれらの位置相互の応力の大きさの比などが判明できる。すなわち、変動応力はどの海象においても、倉口隅部での応力が特に大きい以外には上甲板上の縦応力が大体において最も大きい値となっており、上甲板上以外の部分では応力はかなり小さい。上甲板上の縦応力の前後方向の分布をみると、Fig. 7.1.1 のようになっている。

上甲板上以外で比較的応力の大きいのは、船倉内の船側肋骨の中央部附近、二重底内の中心線ガーダー上などであるが、上甲板上の縦応力に比較すると  $\frac{1}{2}$  以下となっている。

これらの各計測位置のうち代表的な点における変動応力の RMS を海象と対応させてみると、Fig. 7.1.2～7.1.5 のようになる。

縦軸としては、応力の複振幅の RMS ( $2\sqrt{E} = \sqrt{E}$ ) をとり、変動応力のうち生のデータから得られるもの[12]、振動成分を除いたもの[22] および振動成分のみのもの[32] の 3 種の応力変動量についてそれぞれ示し、横軸に対応する海象としては Beaufort 風力階級とうねり波高とをとった。そのほか風浪階級とうねり波長との関連も併記した詳細は前報<sup>3)</sup>に掲出してある。これら 4 個のパラメータ中ではここに掲げた二つが比較的関連性がよいように思われるが、ばらつきがかなり大きく、どのパラメータをとっても変動応力に対して大体似たような対応を示しているようである。

また、これらの計測応力には船体と波の出会い方向については考慮していないが、Fig. 7.1.7 に八雲川丸について、波との出会い方向、向波、追波および横波に大別して計測結果の一例を示した。計測の回数が充分でなく、これだけの資料では確定的なことは云えないが、波との出会い角の相異によって変動応力にあまり大きな差はみられないようである。

### 7.2 相関

前節ではおもに、波浪や船体の運動により生じる動的応力の大きさと頻度に注目したが、さらに、各部応力、船体運動の特性、相互の関係を把握するために、スペクトラム、相関解析を行なった。解析の内容は、(1) 船体動揺と各部応力に関するもの、(2) 縦曲げ振動による応力に関するものに分けられる。

#### 7.2.1 動揺および各部応力

紀見丸では約 30 点の動的応力計測点について、約 3 ヶ月にわたり 79 回の計測が DATA C を使用して行なわれているが、本解析においては Tab. 7.2.1 に示す代表的な応力、動揺 6 点を選び、Tab. 7.2.2 に示す計測について、スペクトラム、相関を計算した。Tab. 7.2.3 に各計測時の海象を示す。計測番号 1206、1207、1212 は軽荷状態、1215、1218、1219 は満載状態である。

##### (1) 相関係数

Tab. 7.2.4～9 に各計測における相互相関係数のラグ  $T = 0$  における値  $R_{T=0}$  と、最大値  $R_{max}$  およびそのときのラグ  $T_m$  を示している。この中で M, N は Tab. 7.2.1 に示される計測項目を示す。Fig. 7.2.1～3 にコレグラムの代表的な例を示す。これは計測番号 1215 の場合の結果である。

## (2) スペクトラム

Fig. 7.2.4～9に各計測ごとの各計測点のスペクトルを示す。Fig. 7.2.10～15に各計測項目ごとに上のスペクトルをまとめて示す。

これらの計算において、単位はひずみに対しては  $\mu \text{ strain}$ 、動揺に対しては度を用いている。

## (3) 考察

### (a) 縦揺れ

縦揺れの周期は波との出会い周期にはほぼ一致する。動揺角は  $\sqrt{E/\lambda}$  が小さい場合に大きく、この場合に縦曲げ応力等と高い相関を示す傾向がある。

### (b) 横揺れ

横揺れは満載時 1.1 sec、軽荷時 1.0 sec の一定の周期を持ち、応力との相関は一般的に非常に低い。

### (c) 甲板縦曲げ応力

縦曲げ応力は、縦揺れと等しい周期を持っており縦揺れが大きい時に相互相関が高くなる。横揺れとの相関は非常に低い。

### (d) 倉口隅部応力

倉口隅部応力は縦曲げ応力と高い相関があるが、風浪が多いときには相関が低くなる傾向がある。応力集中率（倉口隅部応力／縦曲げ応力）は 1.0～2.7 の値を示している。応力集中率が低い場合（1.0）は、曲げによる応力が船体の捩りによる応力により相殺されているように考えられる。

### (e) 船側フレームの応力

満載時にのみ、かなりの応力変動を示している。横揺れとの相関は低い（0.2～0.3）が、縦揺れとはかなりの相関（0.4～0.85）を示す。また、波との出会い角度も影響を与えているようである。横揺れとの相関が低いことに関しては横揺れによる鉱石圧が水圧と打ち消しあうことが考えられるが、また、横揺れによる応力変動そのものが他の原因によるものに比べて、小さいということも考えられる。

### (f) 船首部船側外板

船側フレーム(e)の場合と同様に満載時にのみ、かなりの応力変動を示し、横揺れとの相関は低く（0.2～0.4）、縦揺れとはかなりの相関を示す（0.5～0.9）。これは縦揺れによる、あるいは縦揺れを生じさせる水圧による成分を多く含んでいることを意味すると考えられる。

## 7.2.2 船体振動による応力

昭武丸においては、上甲板上に約 10 点の動的応力計測点が配置されているが、縦曲げ振動による応力を検討するために、このうちの長さ方向にはほぼ等間隔に配置された 6 点を選び、その計測値の振動による成分について、相関、スペクトルを計算した。この計測点は DD-1、2、4、6、8、9 の 6 点である。データは昭武丸 1 次航の計測番号 3024、3025、3026 の 3 例をとった。載荷状態はいずれも軽荷状態である。海象は前述の Tab. 7.2.3 に併記した。

### (1) 相関係数

Fig. 7.2.16、17 にコレログラムの一例を示す。DD-2 のオート・コレログラムが他と異なるのは、データ中に大きなノイズを含むためである。これらから、比較的に低い周波数成分と、その数倍の周波数成分があることがわかる。

### (2) スペクトラム

Fig. 7.2.18、19 に、上のコレログラムに相当するスペクトルを示す。Fig. 7.2.18 は各計測点のオート・スペクトルを、Fig. 7.2.19 は DD-1 と各点のクロス・スペクトルを示すものである。実線は cos 成分を、点

線は sin 成分を表わす。

### (3) 考察

Fig. 7.2.18において各計測点のスペクトルを比較すると、42.5 cpm、102 cpm のあたりに共通の成分を持っている。Fig. 7.2.20に本船のバラスト状態等を考慮して計算した振動数を示しているが、これと比較すると42.5、102 cpm は、それぞれ2節、4節振動に相当する。Fig. 7.2.21は各計測点の42.5 cpm のエネルギー密度を船の長さ方向の位置に対してプロットしたものである。これからモード曲線は図中の点線のようになるものと思われる。また、Fig. 7.2.22に102 cpm のエネルギーをプロットする。Fig. 7.2.19のクロス・スペクトルから各点の102 cpm の成分の位相関係を求めると Fig. 7.2.23 のようになる。これは各点の位相が船首より船尾へゆくにつれて進んでいることを示している。これから、102 cpm の成分が船尾から船首へと伝播していると考えることができる。また、振動モードは Fig. 7.2.22 の点線のようになるものと思われる。

## 7.3 立体強度計算

### (1) 満載状態で波浪を受けたときの応力

波浪による水圧の分布は、Fig. 7.3.1 に示したように仮定した。すなわち、波の表面付近では波高の水頭に近い変化があり、船底では波高の水頭の  $\frac{1}{2}$  の変化があるとした。昭武丸の第1次航 San Nicolas 出港状態 (Alternate loading) で波高 6 m の波に出会ったときの計算結果を Fig. 7.3.2～Fig. 7.3.3 に示す。波の山では、フレームの応力が大きく、波の谷では、ホッパー部の応力が大きくなっている。

紀見丸の第一次航 Robert Bank 出港状態 (uniform loading) で波高 6 m の波に出会ったときの計算結果を Fig. 7.3.4～Fig. 7.3.5 に示す。波の山と谷でフレームに生じる応力の符号は逆になっており、ホッパー部ではほぼ同程度の応力が生じている。

### (2) 波浪による変動応力

波浪による変動応力は、波の山で生じる応力と波の谷で生じる応力の差として求めた。したがって、喫水と波高のみによってきまり、積付状態にはならない。

昭武丸の第1次航 San Nicolas 出港状態で 6 m の波に出会った時の変動応力を Fig. 7.3.6 に示す。また、紀見丸の第1次航 Robert Bank 出港状態で 3 m、6 m、9 m の波に出会ったときの変動応力を Fig. 7.3.7～Fig. 7.3.9 に示す。波浪による変動応力はフレームで大きくなっている。

紀見丸において波浪による変動応力の計算値と計測値の比較を行なう。Fig. 7.3.10～Fig. 7.3.11 には、二重底中央およびフレーム中央の各波高に対する計算応力と DATAC 1500 により計測した応力の RMS のうち満載状態に対するものを示している。

Fig. 7.3.10において、フレーム中央における計測応力を比較すると計測応力は計算応力に比較しきら  $\frac{1}{2}$  の値となっている。この原因として以下のことが考えられる。

- (a) 計算時に仮定した波形と実際の波形の差が大きい。
- (b) 横揺れの影響を無視している。
- (c) 船側における波浪水圧が計算で仮定したものより小さい。
- (d) フレームの変形により積荷の石炭から反力を受ける。

Fig. 7.3.11 に二重底中央における計算応力と計測応力の比較を示している。計測応力は計算応力に比較し 2 倍程度になっているが、この原因として、フレームで考えた原因の(a)、(b)のほかに以下の点が考えられる。

- (a) 計算応力は船底における波浪水圧を、波高に対する水頭の  $\frac{1}{2}$  にしているが、これよりも大きな水圧がかかっている。
- (b) 計測応力の RMS を求める際振幅が  $0.1 \text{ kg/mm}^2$  以下のものは切り捨てて、それ以上のものについて計算している。
- (c) 縦揺れ、横揺れによる動的鉱石圧の影響による。

これらの原因のうち特に(b)の影響が大きいものと思われる。

## 7.4 鉱石圧

縦揺れ、横揺れにより動的鉱石圧がどの程度生じているか、計測値より検討を行なった。

Fig. 7.4.1 に DATA C 1500 より再生したグラフを示す。再生したデータの種類を以下に示す。また、Fig. 7.4.2 にはひずみの計測位置を示している。

- (1) 動的鉱石圧により inner bottom long. に生ずるひずみ .....  $\epsilon_0$
- (2) 二重底の曲げひずみ .....  $\epsilon_B$
- (3) 縦揺れ角
- (4) 横揺れ角
- (5) Inner bottom long. ( $D_L - 1$ ) のひずみ .....  $\epsilon_L$
- (6) 甲板 ( $D_D - 4$ ) の縦曲げひずみ .....  $\epsilon_D$
- (7) 二重底中心線ガーダ ( $D_B - 1$ ) のひずみ .....  $\epsilon_G$

以下に、 $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_B$  を求めた手法を示す。

Inner bottom long. のひずみ ( $\epsilon_L$ ) は動的鉱石圧により局部的に縦通材に生ずるひずみ ( $\epsilon_0$ ) と、二重底の曲げによるひずみ ( $\epsilon_B$ ) と、船体の曲げによるひずみの 3 つを加えたものである。また、中心線ガーダのひずみ ( $\epsilon_G$ ) は二重底の曲げによるひずみ ( $\epsilon_B$ ) と船体の曲げによるひずみを加えたものである。したがって、近似的に動的鉱石圧により inner bottom long. に生じるひずみ ( $\epsilon_0$ ) は以下のようになる。

$$\epsilon_0 = \epsilon_L - \epsilon_G \quad \dots \quad (7.4.1)$$

また、二重底中心線、ガーダ位置での船体曲げひずみは、梁理論から甲板の縦曲げひずみ ( $\epsilon_D$ ) の -0.567 倍として求められるので、二重底の曲げひずみ ( $\epsilon_B$ ) は以下のように表わされる。

$$\epsilon_B = \epsilon_G + 0.567 \epsilon_D \quad \dots \quad (7.4.2)$$

なお、再生したデータの計測日および海象を Tab. 7.4.1 に示す。

石炭積込時に計測された  $\epsilon_0$  は約  $240 \mu$  であるので、動的鉱石圧は、Fig. 7.4.1 から、積込時の鉱石圧の最大 3% 程度であり小さいことが判る。また、Fig. 7.4.1 に示した動的鉱石圧は貨物倉の中央での計測値であるため、横揺れの影響は小さく、縦揺れの影響が大きくなっている。

次に、縦揺れと鉱石圧の関係を求める。最も縦揺れの大きい 7 月 11 日のデータで縦揺れと動的鉱石圧の振幅および周期を Fig. 7.4.1 よりひろった結果を Tab. 7.4.1 に示す。これより、動的鉱石圧の周期・振幅はかなり変化しているのに縦揺れの周期・振幅はそれほど大きな変化はない。これは、上下方向の加速度は縦揺れと上下動により生じるが、その周期がわずかに異なるため、Fig. 7.4.1 で判るようにうなりが生じていると考えられる。

以下に船体運動との関係を検討する。縦揺れ角  $\theta$  を以下のようにおく。

$$\theta = \Theta \sin \omega_p t$$

Fig. 7.4.3において A 点の上下方向の変位および加速度は、

$$\begin{aligned} y_P &= \ell \theta = \ell \Theta \sin \omega_p t \\ \ddot{y}_P &= -\ell \Theta \omega_p^2 \sin \omega_p t \end{aligned} \quad \dots \quad (7.4.3)$$

船体上下動による変位および加速度は、

$$\begin{aligned} y_H &= A_H \sin (\omega_H t + \varphi) \\ \ddot{y}_H &= -A_H \omega_H^2 \sin (\omega_H t + \varphi) \end{aligned} \quad \dots \quad (7.4.4)$$

となる。ここで、 $\varphi$  は縦揺れとの位相差である。以上より上下方向の加速度は、

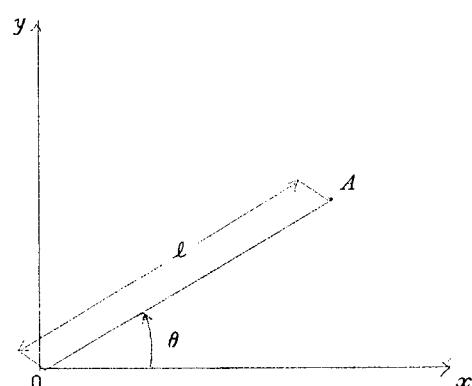


Fig. 7.4.3

$$\begin{aligned}\ddot{y} &= \ddot{y}_P + \ddot{y}_H = -\ell \Theta \omega_P^2 \sin \omega_P t - A_H \omega_H^2 \sin (\omega_H t + \varphi) \\ &= -(\ell \Theta \omega_P^2 + A_H \omega_H^2) \sin \frac{1}{2}(\omega_P + \omega_H + \varphi) \cos \frac{1}{2}(\omega_P - \omega_H - \varphi) \\ &\quad - (\ell \Theta \omega_P^2 - A_H \omega_H^2) \cos \frac{1}{2}(\omega_P + \omega_H + \varphi) \sin \frac{1}{2}(\omega_P - \omega_H - \varphi) \quad \dots \quad (7.4.5)\end{aligned}$$

となる。

7月11日の計測値の平均値より縦揺れによる加速度  $\alpha$  を求めると、

$$\alpha = \frac{4 \pi^2 \Theta \ell}{T_H^2} = 72.4 \text{ cm/sec}^2 \quad \dots \quad (7.4.6)$$

となる。ここで、

$\Theta$  = 縦揺れの振幅

$T_H$  = 縦揺れの周期

$\ell$  = 縦揺れの中心(ここでは船体中央)からの距離

である。したがって、動的鉱石圧により inner bottom long. に生じるひずみは、

$$\epsilon = A_0 \times \frac{\alpha}{g} = 17.7 \mu \quad \dots \quad (7.4.7)$$

となる。ここで、

$A_0$  = 横込時に鉱石圧により生じた歪(240  $\mu$ )

$\alpha$  = 縦揺れによる加速度

$g$  = 重力加速度(980 cm/sec<sup>2</sup>)

計測された平均のひずみ  $\bar{\epsilon}_0$  および最大のひずみ  $\epsilon_{0 \max}$  は、

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\epsilon}_0 = 7.0 \mu \\ \epsilon_{0 \max} = 13.4 \mu \end{array} \right\} \quad \dots \quad (7.4.8)$$

(7.4.5)式に示したうなりの現象から、縦揺れと上下動により生じるひずみの振幅を加え合わせたものは  $\epsilon_{0 \max}$  に対応するものと思われる。(7.4.6)の値には上下動の影響が含まれていないことなどを考え合わせると、かなり実測値の方が小さな値であるといえる。

Tab. 7.4.3には、Fig. 7.4.1に示した各計測結果のうちでは振幅が最大と思われるあたりの周期と振幅を示している。これより、縦揺れ角が小さい場合は計算値の方が小さく、縦揺れ角が大きくなるにつれて計算値は大きくなっている。

以上の検討において、縦揺れ中心は常に船体中央であると仮定していることなど、今後さらに詳細に検討されるべき問題を多く含んでいるものと思われる。

## 8. あ と が き

### (1) 気象・海象

本研究で計測した3隻の船の遭遇した気象・海象のほかに、造船研究協会その他で最近数年間に行なつた他の実船計測時のデータも合わせて、航路(海域)別の統計的整理を行なつた。

Beaufort 風力と波高の関係、波長と波高の関係なども、きわめてばらつきは大きいが、平均的にはこれまでの統計資料や近似式とほとんど一致している。

### (2) 立体強度計算

船体中央部 hold を立体骨組構造モデルで置換え、中央部 trans. ring の変形および縦通材にかかる力とモーメントを求め、これを用いて、さらに詳細に分割した断面モデルで骨組構造解析を行ない、また有限要素法による近似計算も行なつた。計算結果と実測結果はよく一致している。

### (3) 荷役時の応力

前項の計算に引続いて、ballast 状態、uniform loading 状態、alternate loading 状態の各荷重状態についての立体強度計算を行なつた。Alternate loading 状態で一般に最も応力が大きくなるが、ballast 状態では top side tank の応力が大きいのが注目される。

荷役中の荷重変化に対応する部材の応力変化の計算例も実測値と大体合つている。

### (4) 波浪曲げ応力の統計解析

計算機処理によつて、波浪曲げ応力の変動を、生のデータそのままのもの、重畠した振動応力成分を除去したもの、および振動成分だけ取出したものそれぞれについて、極値計数方式および振幅計数方式によつて頻度分布を求め、 $\sqrt{E}$  を計算した。

各短期分布の $\sqrt{E}$ と海象との関係は、ばらつきは大きいが、ストリップ近似解析法、I.S.S.C. 波スペクトルなどを用いて求めた計算結果と大体において一致している。

### (5) 波浪曲げ応力の最大値分布

計測時間 20 分間中の最大応力変動( $p - p$ )の分布状態は、必ずしも正規分布に適合はしていないが、資料数が増加すればこれに近づくものと推定される。今回の計測中での最大値は、船体中央上甲板の縦曲げ応力( $p - p$ )で  $19 \text{ kg/mm}^2$  程度であつた(振動成分除去の計算機処理では  $17 \text{ kg/mm}^2$  )。

最大値とそのときの海象との関係も、ばらつきは大きいが有意の相関が認められる。

### (6) 振動応力

計測船 3隻とも、springing による振動応力の重畠が顕著であつた。船体の 2 節上下振動固有振動数に一致したもののが主で、振動応力の振幅はばらつきは大きいが、平均的には hog-sag の波浪曲げ応力振巾の 30% 程度であつた。

振動応力の最大値分布でも、前項とはほぼ同様の傾向が認められる。今回計測中の最大値は  $1.0 \text{ kg/mm}^2$  ( $p - p$ ) 程度であつた。

満載状態と ballast 状態における振動応力の現われ方には有意の差は認められなかつた。

### (7) 波浪曲げ応力の長期予測

さきに求めた短期分布の $\sqrt{E}$ と海象との関係から、Lewis らの手法に準じて長期分布の予測を試みた。

各短期分布は $\sqrt{E}$ の値で規定される Rayleigh 分布に適合するものとし、また各 $\sqrt{E}$ の値は 9 段に分けた波高グループのそれぞれのなかで正規分布するものと仮定する。この正規分布の平均値(中央値)は実測結果から波高の 2 次関係として近似でき、標準偏差はほぼ一定と考えてよいようである。

あとは長期における波高の出現頻度分布さえわかれば、応力の長期分布、最大値の出現確率などを推定することがで

きる。

北太平洋海域の年間平均の海象（波高分布）よりは、本研究で計測した海象の分布の方が、Severeな状態が多かつたようである。

#### (8) 局部応力

船倉フレーム、二重底上、二重底内フロア、ガーターなどの局部部材の静的応力は大体近似計算結果と一致している。波浪中の動的応力変動量では、計算と実測にかなりの差がある。

これら局部の動的応力の短期分布の $\sqrt{E}$ も、上甲板の波浪曲げ応力と同様に、Beaufort風力や波高と有意の相関が認められるが、応力振巾は概して極めて低い。

上甲板の倉口隅のR部の応力は荷役による静的応力で $10 \text{ kg/mm}^2$ 程度の変動を示し、航海中の $\sqrt{E}$ で上甲板の波浪曲げ応力の3倍程度の値を示していることは注意する必要があるようである。

#### (9) 相 関

船体動揺と船体各部応力、縦曲げ振動応力などとの相関を検討した。

波浪曲げ応力は、波の出会い周期および縦揺れと大きい相関を示すが、横揺れとの相関は非常に低い。横部材の船側フレームの応力も、縦揺れとの相関が大きい、横揺れとの相関は小さい。

上甲板の波浪曲げ応力には、2節および4節の船体上下振動の成分が重畠していることが多い。上甲板上数点で求めたエネルギー密度から、それぞれの振動モードを推定することもできる。

#### (10) 鉱 石 圧

船体動揺による鉱石貨物の動的圧力の近似計算と計測結果の比較を行なつた。動的圧力変動は、積込時の静的圧力の3%程度できわめて小さく、それによつて生ずる応力も測定誤差範囲程度の小さい値で、精密な検討はできなかつたが、縦揺れの影響が大きく、横揺れの影響は小さいようである。

#### (11) 青波水圧

昭武丸、紀見丸（2次航まで）では、船首樓甲板、船首部上甲板および船倉のハッチカバー上などに青波水圧計を取り付けてあつたが、残念ながら計測すべき青波の打込みを経験しなかつた。

#### (12) 使用機器

短期分布の $\sqrt{E}$ の求め方は、本研究に関する限りでも、振巾計数方式の応力頻度計の計数結果から計算する方法、計算機処理による各種の計数方式による頻度分布から求める方法、およびR.M.S.計のアナログ積分計算による方法の3種が混用されている。同じ現象を解析しても、これらの各方法によつて若干異なる結果が出るのがふつうであるからこれらの解析結果を同列に並べて比較するにはいくらか問題があろうと思われる。計器の準備その他の年次計画の都合で一貫した統一処理ができなかつたのは残念である。

最大値の求め方についても、計算機処理のものと、オシログラムを手動解析したものでは、同じ方法のはずであつても若干異なる結果ができるのは止むを得ない。

DATA Cによる高速多元のデジタル計測は、あの計算機処理を考えると有力な手法ではあるが、本研究の場合のように、再生装置を別に持たない場合は計測期間終了まで解析に着手できないこと、大型計算機の使用には、そのinterfaceの問題、時間的経済的制約の問題などの多いことなどを考えると、簡単で手軽に使える専用の小型計算機を備えてon-lineの解析ができるような方法の方が得策と考えられる。

また、本研究では対象範囲が広く計測点がきわめて多かつたので、いろいろ問題も多かつたが、研究目的をもつと狭く限定して少数点の自動化長期の計測を行なう方が一層好ましいように思われる。

本研究は、昭和44年度は“大型鉱石運搬船の安全性に関する研究”、昭和45、46年度は“船舶の構造性能に関する基礎的研究”的一環として、日本船舶振興会からの研究費補助を受けて行なわれたものである。関係者各位に厚く感謝

する次第である。

また、計測船の準備工事、計測員の便乗などに關しては、川崎汽船<sup>株</sup>、昭和海運<sup>株</sup>、大阪商船三井船舶<sup>株</sup>、石川島播磨  
重工<sup>株</sup>、日本鋼管<sup>株</sup>、三菱重工<sup>株</sup>の関係者各位、八雲川丸、昭武丸および紀見丸の乗組各位に非常な御協力を賜わつた。

また、乗船計測および解析に御協力頂いた委員および幹事各位またそれぞれの所属機関に対しては大層な御迷惑をかけた。  
ここに心からの謝意を表明する次第である。

## 文 献

- 1) S R - 118：“大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験”、日本造船研究協会、研究資料、No.120、昭45.3
- 2) 同 上、研究資料、No.135、昭46.3
- 3) 同 上、研究資料、No.152、昭47.3
- 4) 高橋幸伯：“船舶の波浪荷重頻度”、生産研究、20-10、昭43.10
- 5) Takahashi, Y.: "Experimental Apparatus", Proc. 4th I.S.S.C., 1970, Feb. 1971
- 6) S R - 99：“航海中の応力頻度に関する実船試験”、日本造船研究協会、研究資料、No.62、昭42.3
- 7) 同 上、研究資料、No.76、昭43.3
- 8) 同 上、研究資料、No.96、昭44.3
- 9) S R - 44, 49：“高速船の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究”、日本造船研究協会報告、No.49、昭40.3
- 10) 高石敬史ほか：“ニューヨーク定期貨物船山陽丸による北太平洋航海性能実船試験について”、第1報、船舶技術研究所報告、2-2、昭40.3)
- 11) S R - 63：“船舶の耐航性に関する実船試験”、日本造船研究協会報告、No.65、昭43.2
- 12) 安藤文隆ほか：“巨大船の実船強度試験”、造船学会論文集、No.125、昭44.6
- 13) S R - 124：“大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験”、日本造船研究協会、研究資料、No.140、昭46.3
- 14) 同 上、研究資料、No.156、昭47.3
- 15) Neumann, G. & Pierson, W.J. Jr.: "A Detailed Comparison of Theoretical Wave Spectra and Wave Forecasting Method", Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 10-3 & 10-4, 1957.
- 16) Lewis, E.V.: "Predicting Long Term Distribution of Wave Induced Bending Moment on Ship Hulls", Trans. SNAME, 1967
- 17) 福田淳一：“長期の波浪曲げモーメントの異常値の傾向について”、造船学会論文集、No.123、昭43.6
- 18) Yamanouchi, Y.: "Statistical Diagrams of the Winds and Waves on the North Pacific Ocean", Papers of Ship Research Institute, March 1970.

## 附表・附図目録

### Tables and Figures

#### (2. 1)

Tab. 2. 1. 1	Principal dimensions of measured ships .....	33
Tab. 2. 1. 2	Testing period and routes .....	33
Fig. 2. 1. 1	YAKUMOKAWA MARU .....	34
Fig. 2. 1. 2	SHOBU MARU .....	34
Fig. 2. 1. 3	KIMI MARU .....	34

#### (2. 2)

Tab. 2. 2. 1	Strain gages on YAKUMOKAWA MARU .....	35
Tab. 2. 2. 2	Strain and pressure gages on SHOBU MARU .....	35
Tab. 2. 2. 3	Strain and pressure gages on KIMI MARU .....	35
Tab. 2. 2. 4	Apparatus on SHOBU MARU and KIMI MARU .....	36
Fig. 2. 2. 1	Strain gages on upper deck (YAKUMOKAWA MARU) .....	37
Fig. 2. 2. 2	Strain gages in No. 4 Cargo hold (YAKUMOKAWA MARU) .....	37
Fig. 2. 2. 3	Strain gages in double bottom (YAKUMOKAWA MARU) .....	38
Fig. 2. 2. 4	Strain and pressure gages on upper deck (SHOBU MARU) .....	38
Fig. 2. 2. 5	Strain gages in top-side tank (SHOBU MARU) .....	39
Fig. 2. 2. 6	Strain gages in cargo hold (SHOBU MARU) .....	40
Fig. 2. 2. 7	Strain gages in double bottom (SHOBU MARU) .....	41
Fig. 2. 2. 8	Strain and pressure gages on upper deck (KIMI MARU) .....	41
Fig. 2. 2. 9	Strain gages in No. 1 cargo hold (KIMI MARU) .....	42
Fig. 2. 2. 10	Strain gages on inner bottom plates of No. 3 cargo hold (KIMI MARU) .....	42
Fig. 2. 2. 11	Strain gages in No. 3 cargo hold (KIMI MARU) .....	39
Fig. 2. 2. 12	Strain gages in double bottom (KIMI MARU) .....	43
Fig. 2. 2. 13	Block diagram of measurement (YAKUMOKAWA MARU) .....	44
Fig. 2. 2. 14	Block diagram of measurement (SHOBU MARU & KIMI MARU) .....	44

#### (3. 1)

Fig. 3. 1. 1	Typical section of 3-dimensional model .....	45
Fig. 3. 1. 2	Three dimensional frame structure model of bulk carrier (1.5 cargo hold) .....	46

<b>Fig. 3. 1. 3</b>	Three dimensional frame structure model of bulk carrier (3 cargo hold) .....	47
<b>Fig. 3. 1. 4</b>	Model of a transverse ring (SHOBU MARU) .....	48
<b>Fig. 3. 1. 5</b>	Model of a transverse ring (KIMI MARU) .....	48
<b>Fig. 3. 1. 6</b>	Finite elements division of transverse ring (KIMI MARU) .....	45
 <b>(3. 2)</b>		
<b>Fig. 3. 2. 1</b>	Boundary conditions for 3 dimensional frame structures .....	49
<b>Fig. 3. 2. 2</b>	Torsional rigidity .....	50
<b>Fig. 3. 2. 3</b>	Members around hopper tank and top side tank .....	50
 <b>(3. 3)</b>		
<b>Tab. 3. 3. 1</b>	Loading conditions (SHOBU MARU) .....	51
<b>Tab. 3. 3. 2</b>	Loading conditions (KIMI MARU) .....	51
<b>Fig. 3. 3. 1</b>	Stress by loading (SHOBU MARU, 1st voyage, St. Nicolas) .....	52
<b>Fig. 3. 3. 2</b>	Stress by loading (SHOBU MARU, 2nd voyage, Port Headland) .....	52
<b>Fig. 3. 3. 3</b>	Stress by unloading (SHOBU MARU, 2nd voyage, Fukuyama) .....	53
<b>Fig. 3. 3. 4</b>	Stress by loading (KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank) .....	53
<b>Fig. 3. 3. 5</b>	Stress by loading (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk) .....	54
<b>Fig. 3. 3. 6</b>	Stress by loading calculated by F. E. M. (KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank) .....	55
<b>Fig. 3. 3. 7</b>	Stress by loading calculated by F. E. M. (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk) .....	56
<b>Fig. 3. 3. 8</b>	Comparison of measured and calculated stress (KIMI MARU) .....	54
 <b>(4. 1)</b>		
<b>Tab. 4. 1. 1</b>	Ships used for observation .....	57
<b>Fig. 4. 1. 1</b>	Encountering angle .....	57
 <b>(4. 2)</b>		
<b>Fig. 4. 2. 1</b>	Histogram of Beaufort scale in these tests .....	58
<b>Fig. 4. 2. 2</b>	Histogram of wave height in these tests .....	59
<b>Fig. 4. 2. 3</b>	Histogram of Beaufort scale and wave state in each route .....	60
<b>Fig. 4. 2. 4</b>	Histogram of swell state and swell height in each route .....	60
<b>Fig. 4. 2. 5</b>	Histogram of wave height and wave length in each route .....	61

<b>Fig. 4. 2. 6</b>	Histogram of mean period of swell and wave in each route .....	61	
<b>Fig. 4. 2. 7</b>	Histogram of encounter angle of wind and swell in each route .....	62	
<b>Fig. 4. 2. 8</b>	Frequency distribution of wind encounter angle .....	62	
<b>Fig. 4. 2. 9</b>	Frequency distribution of swell encounter angle .....	63	
<b>Fig. 4. 2. 10</b>	Histogram of ship speed .....	63	
<b>Fig. 4. 2. 11</b>	Histogram of wind speed .....	58	
 <b>(4. 3)</b>			
<b>Tab. 4. 3. 1</b>	Correlation of environmental conditions .....	64	
 <b>Fig. 4. 3. 1</b> Wave height vs. Beaufort scale .....			65
<b>Fig. 4. 3. 2</b>	Wave length vs. wave height .....	66	
 <b>(5. 1)</b>			
<b>Fig. 5. 1. 1</b>	Stresses on ballast condition .....	67	
	(SHOBU MARU, 1st voyage, at St. Nicolas)		
<b>Fig. 5. 1. 2</b>	Stresses on ballast condition .....	67	
	(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Port Headland)		
<b>Fig. 5. 1. 3</b>	Stresses on ballast condition .....	68	
	(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Fukuyama)		
<b>Fig. 5. 1. 4</b>	Stresses on ballast condition .....	68	
	(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)		
<b>Fig. 5. 1. 5</b>	Stress distribution on ballast condition calculated by F. E. M. ....	69	
	(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)		
<b>Fig. 5. 1. 6</b>	Stress distribution on ballast condition calculated by F. E. M. ....	70	
	(KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)		
<b>Fig. 5. 1. 7</b>	Stresses on uniform loaded condition .....	71	
	(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)		
<b>Fig. 5. 1. 8</b>	Stresses on uniform loaded condition .....	71	
	(KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)		
<b>Fig. 5. 1. 9</b>	Stress distribution on uniform loaded condition calculated .....	72	
	by F. E. M. (KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)		
<b>Fig. 5. 1. 10</b>	Stress distribution on uniform loaded condition calculated by .....	73	
	F. E. M. (KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)		
<b>Fig. 5. 1. 11</b>	Stresses in empty hold on alternate loading condition .....	74	
	(SHOBU MARU, 1st voyage, at St. Nicolas)		
<b>Fig. 5. 1. 12</b>	Stresses in empty hold on alternate loading condition .....	74	
	(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Port Headland)		
<b>Fig. 5. 1. 13</b>	Stresses in empty hold on alternate loading condition .....	75	
	(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Fukuyama)		

<b>Fig. 5. 1. 14</b>	Stresses in empty hold on alternate loading condition..... (KIMI MARU, Designing condition)	75
<b>Fig. 5. 1. 15</b>	Stresses in loaded hold on alternate loading condition..... (KIMI MARU, Designing condition)	76
<b>Fig. 5. 1. 16</b>	Stress distribution in loaded hold on alternate loading ..... condition calculated by F. E. M. (KIMI MARU, Designing condition)	77
<b>Fig. 5. 1. 17</b>	Stress distribution in empty hold on alternate loading..... condition calculated by F. E. M. (KIMI MARU, Designing condition)	78
<b>(5. 2)</b>		
<b>Fig. 5. 2. 1</b>	Loading at Robert Bank (KIMI MARU, 1st voyage).....	79
<b>Fig. 5. 2. 2</b>	Loading at Norfolk (KIMI MARU, 2nd voyage).....	79
<b>Fig. 5. 2. 3</b>	Stress by loading (KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank) .....	80
<b>Fig. 5. 2. 4</b>	Stress by loading (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk) .....	80
<b>(6. 1)</b>		
<b>Fig. 6. 1. 1</b>	Counting method of stress frequency.....	81
<b>Fig. 6. 1. 2</b>	Calculation of $\sqrt{E}$ .....	81
<b>(6. 2)</b>		
<b>Tab. 6. 2. 1</b>	$\sqrt{E}$ and maximum value of longitudinal wave bending..... stress amidship (SHOBU MARU)	82
<b>Tab. 6. 2. 2 (1)</b>	$\sqrt{E}$ and maximum value of longitudinal wave bending..... stress amidship (KIMI MARU) -1	83
<b>Tab. 6. 2. 2 (2)</b>	" -2 .....	84
<b>Tab. 6. 2. 2 (3)</b>	" -3 .....	85
<b>Tab. 6. 2. 2 (4)</b>	" -4 .....	86
<b>Tab. 6. 2. 3</b>	Principal dimensions and coefficient of ships.....	87
<b>Fig. 6. 2. 1</b>	Longitudinal wave bending stress (RMS of double..... amplitude, $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (SHOBU MARU)	88
<b>Fig. 6. 2. 2</b>	Longitudinal wave bending stress (RMS of double .....amplitude, $2\sqrt{E}$ vs. sea state (KIMI MARU)	89
<b>Fig. 6. 2. 3</b>	Longitudinal wave bending moment and stress vs..... Beaufort scale.	90
<b>Fig. 6. 2. 4</b>	Weight distribution of SHOBU MARU .....	91

<b>Fig. 6. 2. 5 (1)</b> Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Full loaded)	91
<b>Fig. 6. 2. 5 (2)</b> Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Ballasted)	93
<b>Fig. 6. 2. 6</b> Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Head seas)	93
<b>Fig. 6. 2. 7 (1)</b> Longitudinal wave bending moment vs. mean wave period (SHOBU MARU, Full loaded)	93
<b>Fig. 6. 2. 7 (2)</b> Longitudinal wave bending moment vs. mean wave period (SHOBU MARU, Ballasted)	93
<b>Fig. 6. 2. 8</b> Standard deviation of longitudinal wave bending moment vs. mean wave period (SHOBU MARU, Mean direction = 0 )	94
<b>(6. 3)</b>	
<b>Fig. 6. 3. 1</b> Frequency of maximum reading stress.....	95
<b>Fig. 6. 3. 2</b> Comparison of max. stress by different analysing method	96
<b>Fig. 6. 3. 3</b> Maximum reading stress vs. wave height .....	96
<b>(6. 4)</b>	
<b>Fig. 6. 4. 1</b> Springing stresses vs. wave bending stress (SHOBU MARU) .....	97
<b>Fig. 6. 4. 2</b> Springing stresses vs. wave bending stress (KIMI MARU) .....	97
<b>Fig. 6. 4. 3</b> $\sqrt{E}$ of springing stress vs. wave height .....	98
<b>(6. 5)</b>	
<b>Fig. 6. 5. 1</b> Bending stresses and wave height (KIMI MARU) .....	98
<b>Fig. 6. 5. 2</b> Long-term probability of wave bending stress in different wave height groups (KIMI MARU) .....	99
<b>Fig. 6. 5. 3</b> Long-term probabilities of wave bending stress in several assumed weather conditions (KIMI MARU)	99
<b>Fig. 6. 5. 4</b> Histogram of swell height (Mean of 3 voyages, KIMI MARU).....	100
<b>Fig. 6. 5. 5</b> Histogram of swell height of the North Pacific Ocean route .....	100
(Fig. 4. 2. 4)	
<b>Fig. 6. 5. 6</b> Histogram of swell height of Australia route (Fig. 4. 2. 4) .....	100
<b>Fig. 6. 5. 7</b> Histogram of swell height (Mean of the North Pacific Ocean, by Yamanouchi <sup>18)</sup> ) .....	100

Fig. 6. 5. 8	Histogram of swell height of the North Atlantic Ocean, ..... by Walden (Used in calculation by Fukuda 17) )	100
(7. 1)		
Tab. 7. 1. 1	Local stresses in some conditions (SHOBU MARU, ..... Processed by method [2. 1])	101
Tab. 7. 1. 2	Local stresses in some conditions (KIMI MARU, ..... Processed by method [2. 1])	101
Fig. 7. 1. 1	Distribution of RMS of wave bending stresses on upper ..... deck (SHOBU MARU)	102
Fig. 7. 1. 2	Wave induced stress in hatch corner ..... (RMS of stress range, $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)	103
Fig. 7. 1. 3	Wave induced stress in inner bottom ..... (RMS of stress range, $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)	104
Fig. 7. 1. 4	Wave induced stress in center girder ..... (RMS of stress range, $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)	105
Fig. 7. 1. 5	Wave induced stress in bottom floor ..... (RMS of stress range, $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)	106
Fig. 7. 1. 6	Wave induced stress in side frame ..... (RMS of stress range, $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)	107
Fig. 7. 1. 7	RMS of transverse stresses vs. sea state ..... (YAKUMOKAWA MARU)	108
(7. 2)		
Tab. 7. 2. 1	Measured items (KIMI MARU) .....	109
Tab. 7. 2. 2	Test number (KIMI MARU) .....	109
Tab. 7. 2. 3	Sea conditions .....	109
Tab. 7. 2. 4	Cross correlation coefficients (KIMI MARU) .....	110
Fig. 7. 2. 1	Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-1) .....	111
Fig. 7. 2. 2	Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-2) .....	112
Fig. 7. 2. 3	Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-3) .....	113
Fig. 7. 2. 4	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1206) .....	114
Fig. 7. 2. 5	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1207) .....	114
Fig. 7. 2. 6	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1212) .....	115
Fig. 7. 2. 7	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1215) .....	115

Fig. 7. 2. 8	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1218) .....	116
Fig. 7. 2. 9	Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1219) .....	116
Fig. 7. 2. 10	Energy Spectra (KIMI MARU, Pitching).....	117
Fig. 7. 2. 11	Energy Spectra (KIMI MARU, Rolling).....	117
Fig. 7. 2. 12	Energy Spectra (KIMI MARU, DD-4) .....	118
Fig. 7. 2. 13	Energy Spectra (KIMI MARU, DC-1) .....	118
Fig. 7. 2. 14	Energy Spectra (KIMI MARU, DS-2) .....	119
Fig. 7. 2. 15	Energy Spectra (KIMI MARU, DF-2) .....	119
Fig. 7. 2. 16	Auto correlograms (SHOBU MARU, Test No. 3026-1) .....	120
Fig. 7. 2. 17	Cross correlograms (SHOBU MARU, Test No. 3026-2).....	121
Fig. 7. 2. 18	Energy Spectra (SHOBU MARU, Test No. 3026) .....	122
Fig. 7. 2. 19	Cross Spectra (SHOBU MARU, Test No. 3026) .....	123
Fig. 7. 2. 20	Calculated frequencies of vertical vibrations of SHOBU MARU .....	124
Fig. 7. 2. 21	Longitudinal distributions of energy density .....	124
	(2nd Mode Vib.)	
Fig. 7. 2. 22	Longitudinal distributions of energy density .....	124
	(4th Mode Vib.)	
Fig. 7. 2. 23	Relations of phase lags in 4th mode vibration .....	124
 (7.3)		
Fig. 7. 3. 1	Pressure distribution induced by wave .....	125
Fig. 7. 3. 2	Calculated stress of SHOBU MARU .....	125
	(Alternate loading, On the crest of 6 m wave)	
Fig. 7. 3. 3	Calculated stress of SHOBU MARU .....	126
	(Alternate loading, On the trough of 6 m wave)	
Fig. 7. 3. 4	Calculated stress of KIMI MARU .....	126
	(Uniform loading, On the crest of 6 m wave)	
Fig. 7. 3. 5	Calculated stress of KIMI MARU .....	127
	(Uniform loading, On the trough of 6 m wave)	
Fig. 7. 3. 6	Calculated dynamic stress induced by 6 m height wave .....	127
	(SHOBU MARU, Alternate loading)	
Fig. 7. 3. 7	Calculated dynamic stress induced by 3 m height wave .....	128
	(KIMI MARU, Uniform loading)	
Fig. 7. 3. 8	Calculated dynamic stress induced by 6 m height wave .....	128
	(KIMI MARU, Uniform loading)	

<b>Fig. 7.3.9</b>	Calculated dynamic stress induced by 9 m height wave .....	129
	(KIMI MARU, Uniform loading)	
<b>Fig. 7.3.10</b>	R. M. S. of dynamic stress vs. wave height .....	129
	(KIMI MARU, Full load, DF-2 Center of frame)	
<b>Fig. 7.3.11</b>	R. M. S. of dynamic stress vs. wave height .....	130
	(KIMI MARU, Full load, DB-1 Center of double bottom)	

**(7.4)**

<b>Tab. 7.4.1</b>	Environmental conditions (KIMI MARU) .....	130
<b>Tab. 7.4.2</b>	Dynamic coal pressure and pitching .....	131
	(KIMI MARU, Data No. 3, July 11, 1971)	
<b>Tab. 7.4.3</b>	Dynamic coal pressure and pitching (KIMI MARU) .....	131
<b>Fig. 7.4.1</b>	Examples of oscillogram (KIMI MARU) .....	132
<b>Fig. 7.4.2</b>	Strain gage position for dynamic pressure of cargo coal .....	133
<b>Fig. 7.4.3</b>	Pitching angle .....	133

附図・附表集

Tab. 2. 1. 1 Principal dimensions of measured ships

Ship	Yakumokawa Maru	Shobu Maru	Kimi Maru
LPP (m)	220.00	236.22	238.00
Bm (m)	32.20	31.85	32.20
Dm (m)	18.50	18.75	18.20
dm (m)	12.30	11.93	12.23
D.W. (t)	64,880	63,420	62,325
Main Engine	Kawasaki MAN K7Z 86/160E	Uruga SULZER 6RD90	Mitsubishi SULZER 8RD90
PS x RPM (MCR)	16,000 x 115	15,000 x 112	18,400 x 122
Number of Blades	5	5	5
Service Speed (kt)	15.25	15.25	15.50
Owner	Kawasaki Kisen kaisha, Ltd.	Showa Shipping Co., Ltd.	MITSUI O.S.K. Lines, Ltd.
Completion	Oct. 1967	Dec. 1966	June 1969

Tab. 2. 1. 2 Testing period and routes

Ships	Period	Course
Yakumokawa Maru	1 Aug. '69 Dec. '69	Aioi → Weipa (Australia) → Emden (W. Germany) → Norfork & Newport News (U.S.A.) → Mizushima
	2 Dec. '69 April '70	Mizushima → Gent (Belgium) → Norfork & Newport News (U.S.A.) → Chiba
Shobu Maru	1 Nov. '69 Jan. '70	Yokohama → St. Nicolas (Peru) → Tobata
	2 Jan. '70 Feb. '70	Sakai → Port Headland (Australia) → Fukuyama
Kimi Maru	1 June '70 July '70	Kobe → Robert Bank (Canada) → Wakayama
	2 July '70 Sept. '70	Wakayama → Newport News & Norfork (U.S.A.) → Kashima
	3 Dec. '70 Jan. '71	Wakayama → Robert Bank (Canada) → Wakayama

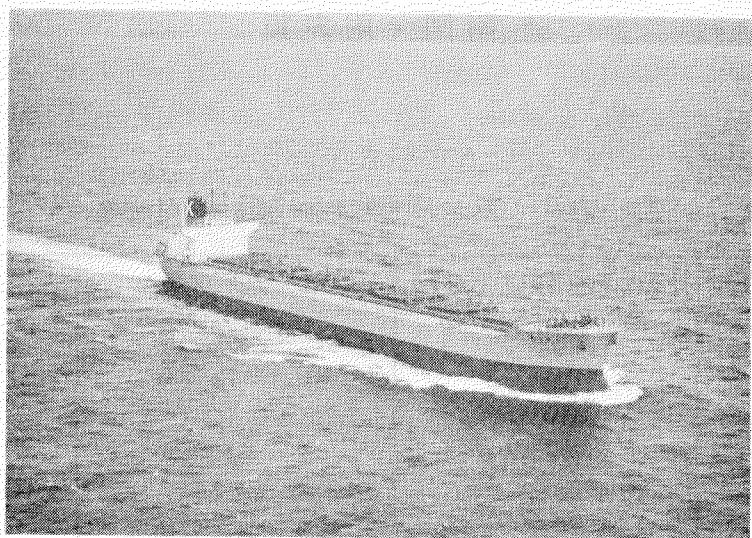


Fig. 2, 1, 1 YAKUMOKAWA MARU

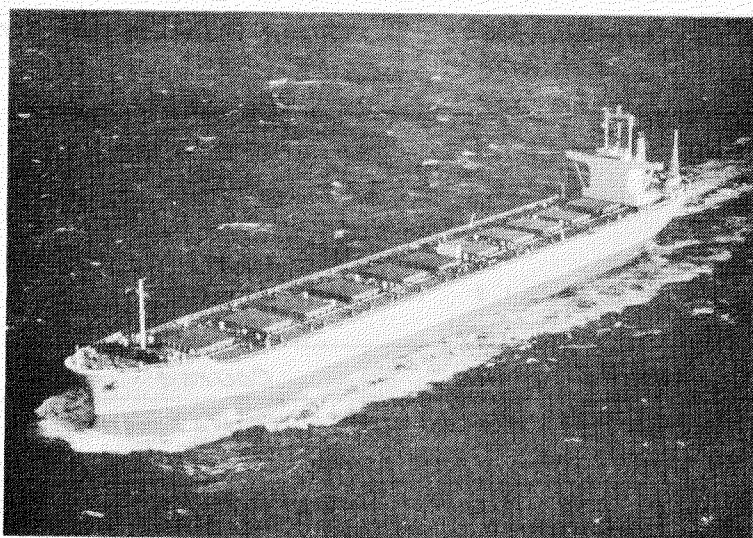


Fig. 2, 1, 2 SHOBU MARU

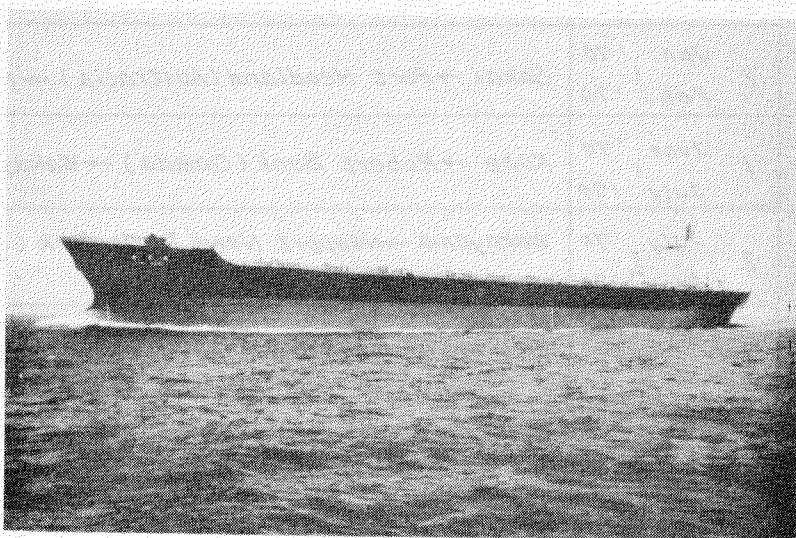


Fig. 2, 1, 3 KIMI MARU

Tab. 2.2.1 Strain gages on YAKUMOKAWA MARU

Tab. 2.2.3 Strain and pressure gages on KIMI MARU

NUMBER OF STRAIN GAGES			
Position	Dynamic Measurement	Static Measurement	Total
Upper Deck	3 ( ①, ②, ③ )	4 ( U1 ~ U4 )	7
Hopper & Frame	3 ( ③, ④, ⑤ )	6 ( DH1, DH2, S1~S4 )	9
No. 4 Cargo Hold Double Bottom	4 ( ⑥, ⑦, ⑧, ⑨ )	12 ( D3P~D5P, D3S~D5S )	16
Total	10	22	32

Tab. 2.2.2 Strain and pressure gages on SHOBU MARU

NUMBER OF STRAIN GAGES			
Position	Dynamic Measurement	Static Measurement	Total
Upper Deck	14 ( DD1~DD12, ④, ⑤ )	5 ( SD1~SD5 )	19
Inner Bottom PL.	2 ( DB1, DB2. )	6 ( SB1 ~ SB6 )	8
Double Bottom ( Floor & Girder )	12 ( D1A~D3A, D1F~D3F ) ( DG1P~DG3P, DG1S~DG3S )	42 ( S1A~S17A, S1F~S17F ) ( SG1P~SG17P, SG1S~SG17S )	54
No. 4 Cargo Hold Side Frame	4 ( DF1P, DF1S, DF2P, DF2S )	18 ( SF1~SF4 ) ( SF5A~SF14, SF5F~SF11F )	22
Side Shell		18 ( SS1P~SS3P, SS1S~SS3S ) ( SS4~SS6, SS10~SS11 )	18
Total	32	89	121

GREEN SEA WATER PRESSURE METERS			
Position	Max. Pressure Gage	Pressure Counter	Total
Forecastle Deck	1	2	3
Upper Deck	1	1	2
No. 1 Hatch Cover	1	0	1
Total	3	3	6

STRAIN GAGES			
Position	Position	Dynamic Measurement	Static Measurement
Upper Deck	Upper Deck	8 ( DD1~DD4, DC1, DC2, ②, ③ )	8 + 5 ( SC1~SC4, SC2, SC3 )
No. 1 Hold : Frame & Side Shell	Inner Bottom PL.	5 ( DS1, DS2, DF4~DF6 )	5 + 0
	Double Bottom	2 ( DB1, DB2 )	2 + 4 ( SB1 ~ SB4 )
No. 3 (Floor & Girder)	Double Bottom	14 ( DF1F~DF13F, DF1A~DF13A ) ( DL1~DL2 )	14 + 14 ( SF1F, SF1A ~ SF2F, SF2A )
Cargo Hold Hopper Part	Side Frame	1 ( DL3 )	1 + 27 ( SH1~SH3, SH4A~SH9A ) ( SH15~SH15F, SH13A~SH13A )
	Total	33	33 + 69

GREEN SEA WATER PRESSURE METERS			
Position	Max. Pressure Gage	Pressure Counter	Total
Forecastle Deck	1	2	3
Upper Deck	1	1	2
No. 1 Hatch Cover	1	0	1
Total	3	3	6

Tab. 2.2.4 Apparatus on SHOBU MARU and KIMI MARU

Sensor	Meter	Recorder
Strain Gages	Dynamic Strain Meters	
Vertical Gyro.	Ship Motion Meter	Elec. Mg. Oscillograph
Strain Gages	Switch Box - static strain Meter	(Reading)
Strain Gage	Dyn. Strain M. - Stress Cycle Counter	(Reading)

Tab. 2.2.5. Apparatus on SHOBU MARU and KIMI MARU

Sensor	Meter	Recorder
Strain Gages	Dyn. Strain M. - Filter	High Speed Digital Data Recorder (30 el.)
Vertical Gyro.	Ship Motion Meter	
Strain Gages	Scanning Switch (90 el.) & Static Strain Meter	Digital Printer
Strain Gage	Dynamic Strain Meter & R.M.S. Computer	Penwriting Recorder
Strain Gage	Dyn. Strain M. - Stress Cycle Counter	(Reading)
Diaphgram	Green Sea Max. Pressure Gage	(Reading)
Bellows	Green Sea Pressure Counter	(Reading)

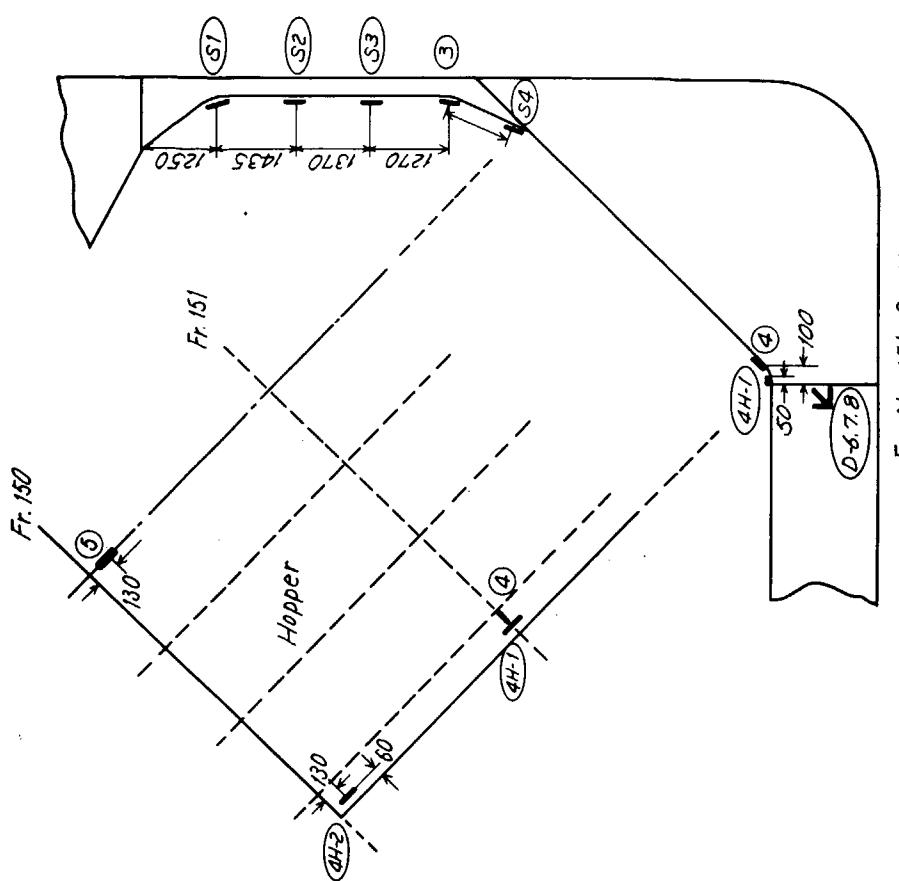


Fig. 2. 2. 2 Strain gages in No. 4 Cargo hold (YAKUMOKAWA MARU)

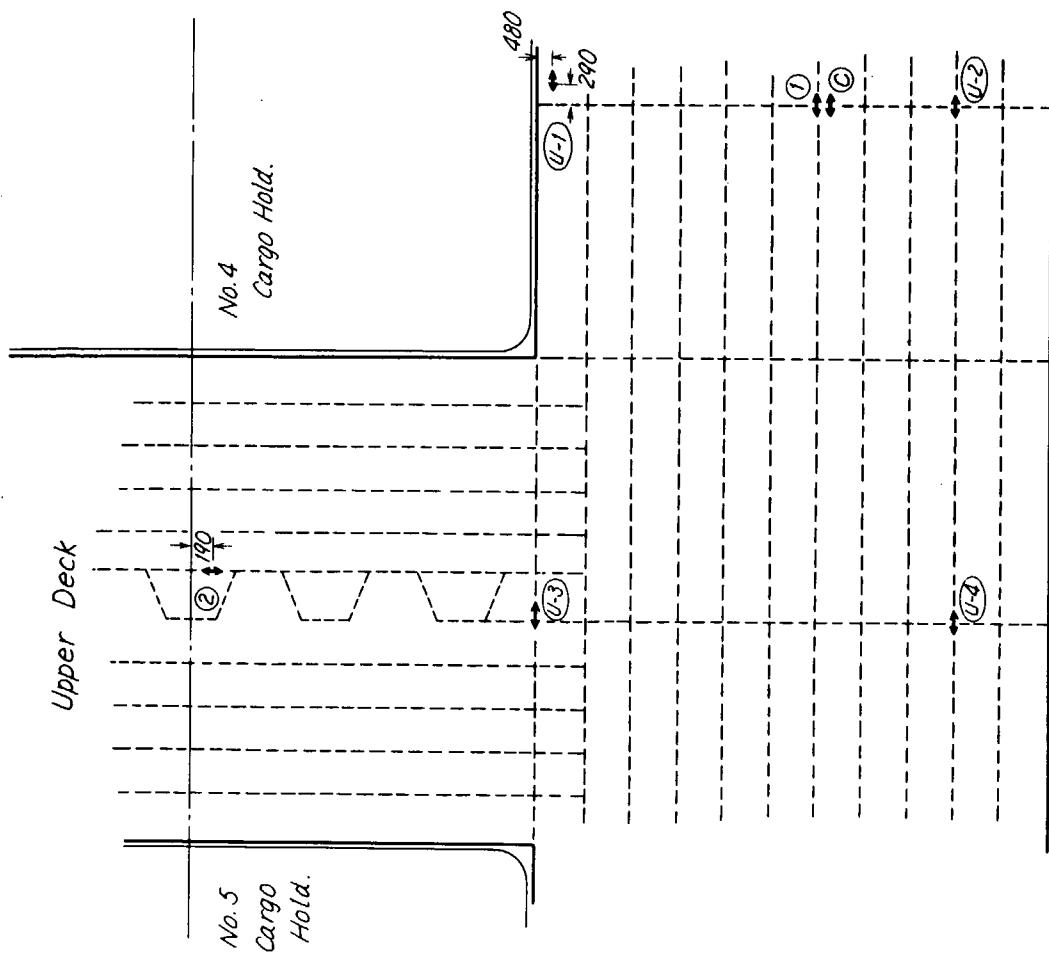


Fig. 2. 2. 1 Strain gages on upper deck (YAKUMOKAWA MARU)

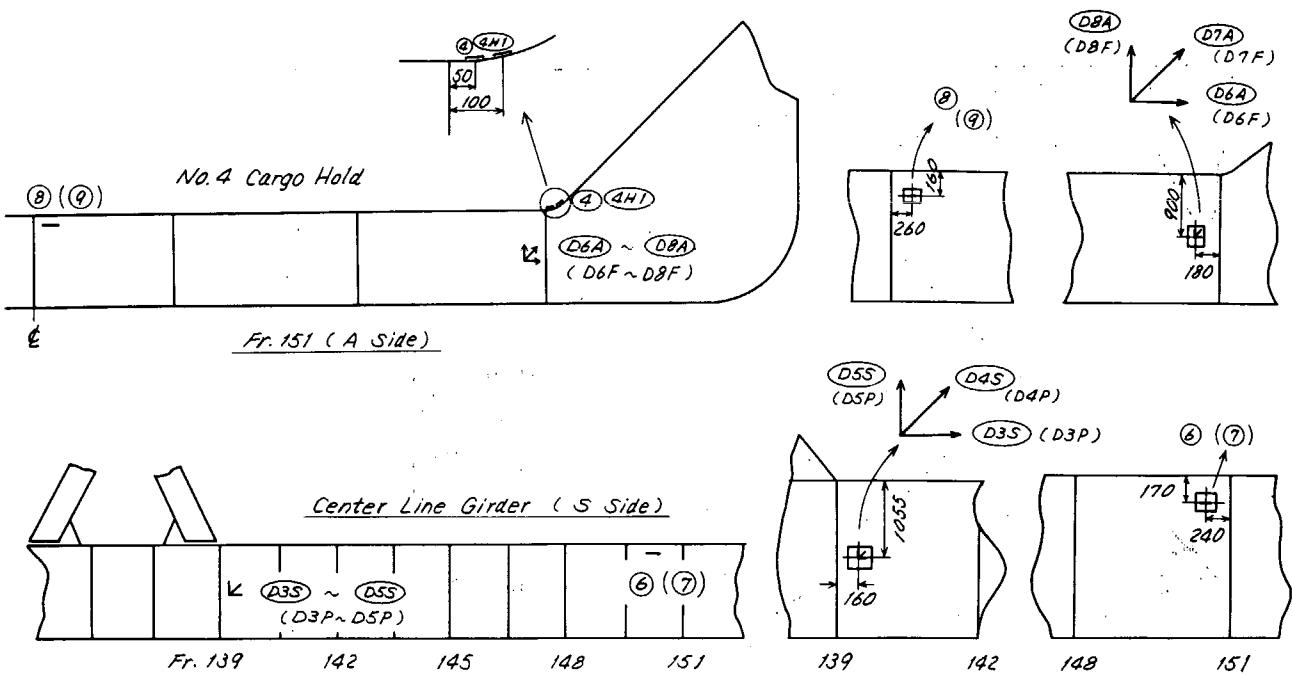


Fig. 2.2.3 Strain gages in double bottom (YAKUMOKAWA MARU)

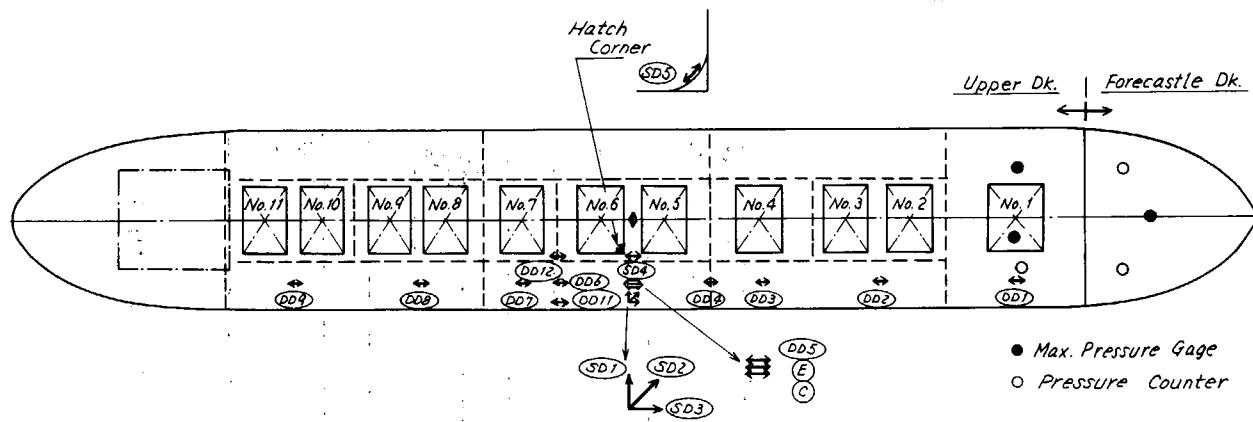


Fig. 2.2.4 Strain and pressure gages on upper deck (SHOBU MARU)

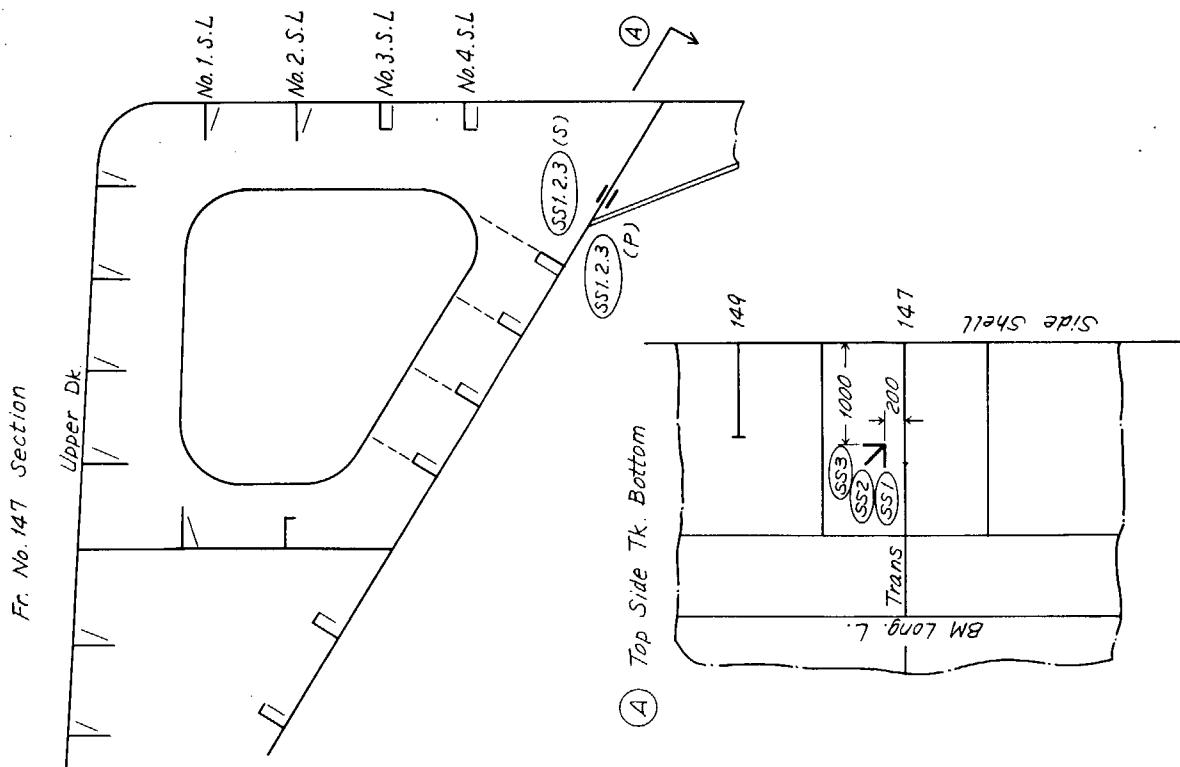


Fig. 2.2.5 Strain gages in top-side tank (SHOBU MARU)

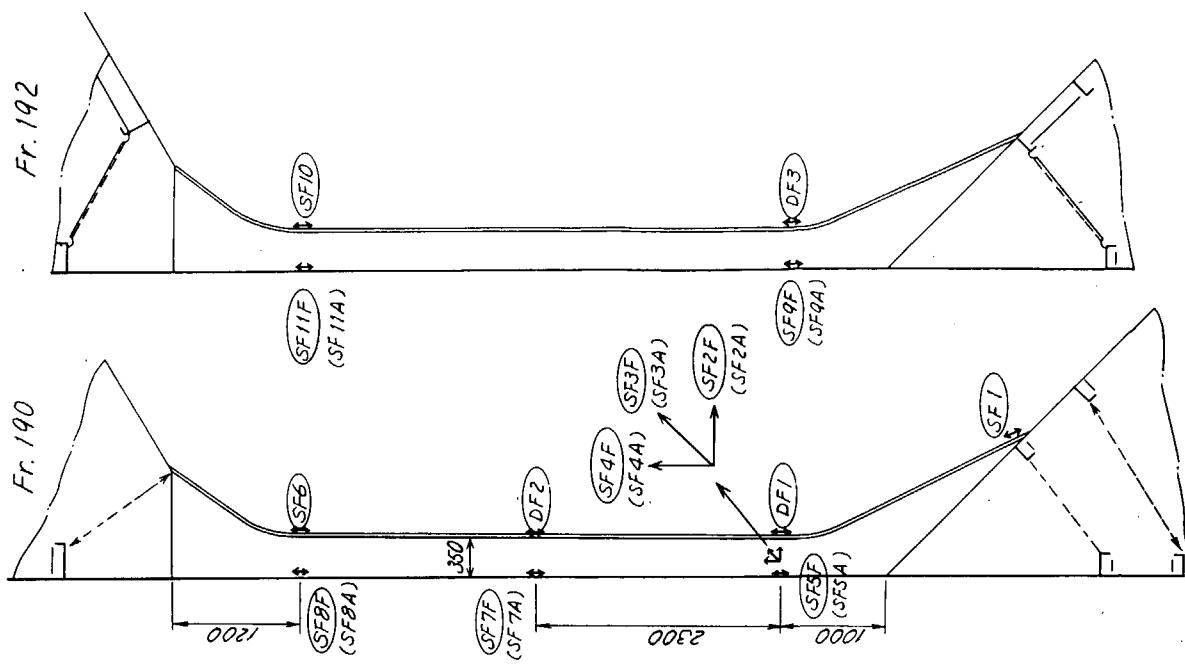


Fig. 2.2.11 Strain gages in No. 3 cargo hold (KIMI MARU)

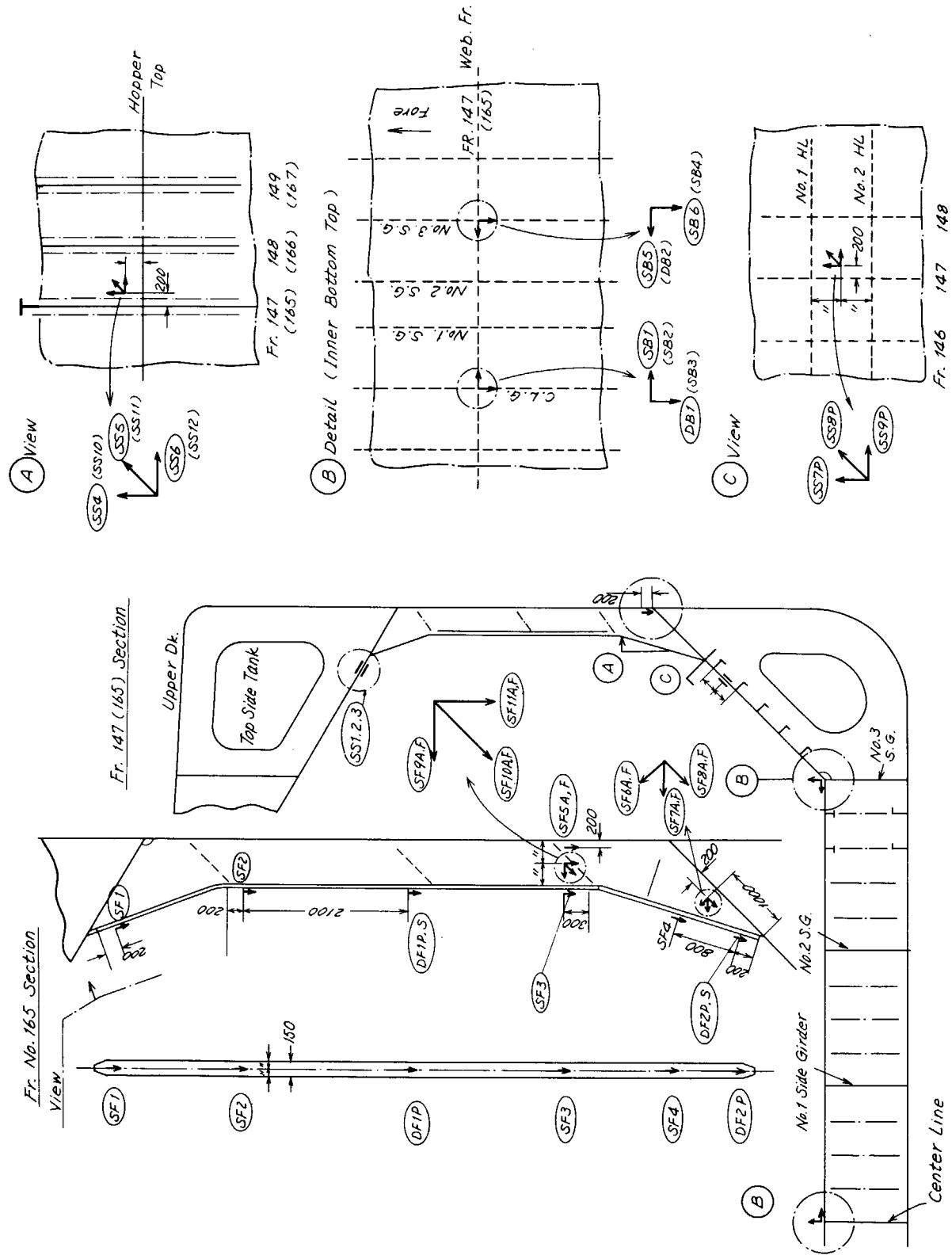


Fig. 2.2.6 Strain gages in cargo hold (SHOBU MARU)

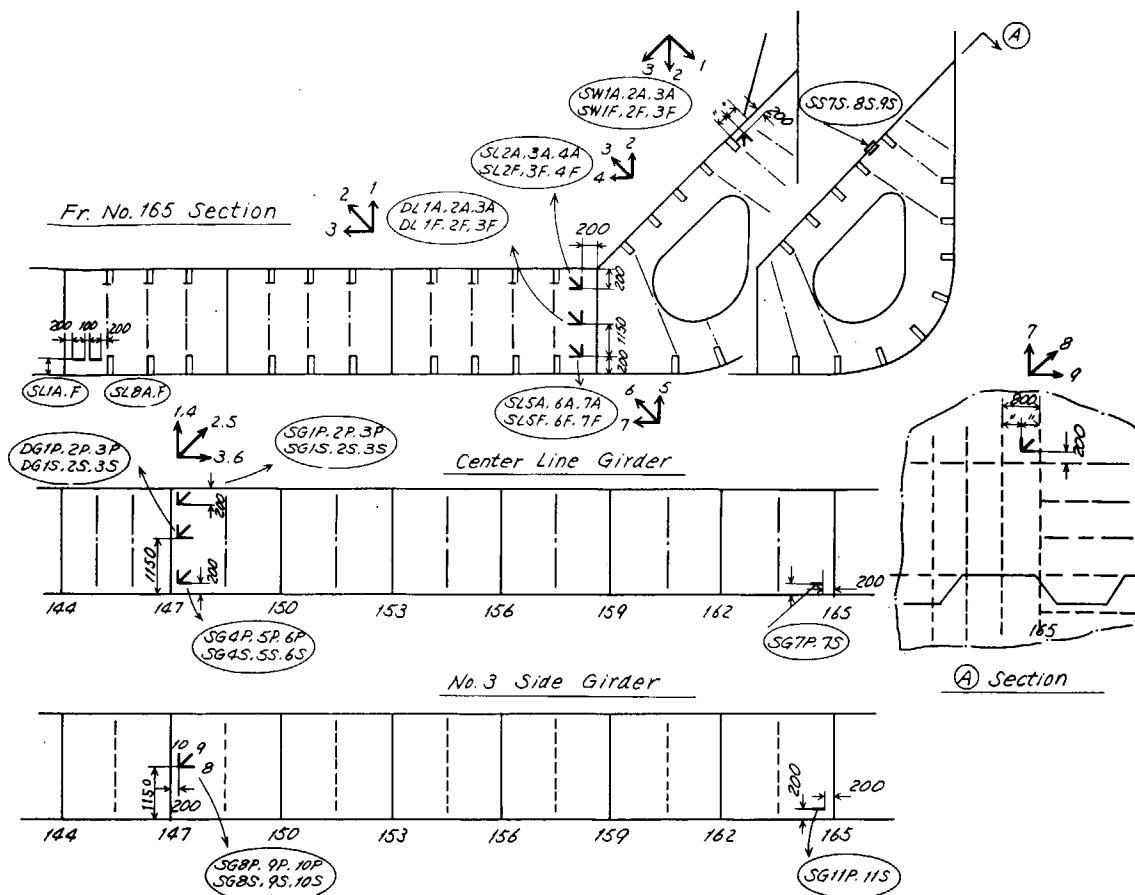


Fig. 2. 2. 7 Strain gages in double bottom (SHOBU MARU)

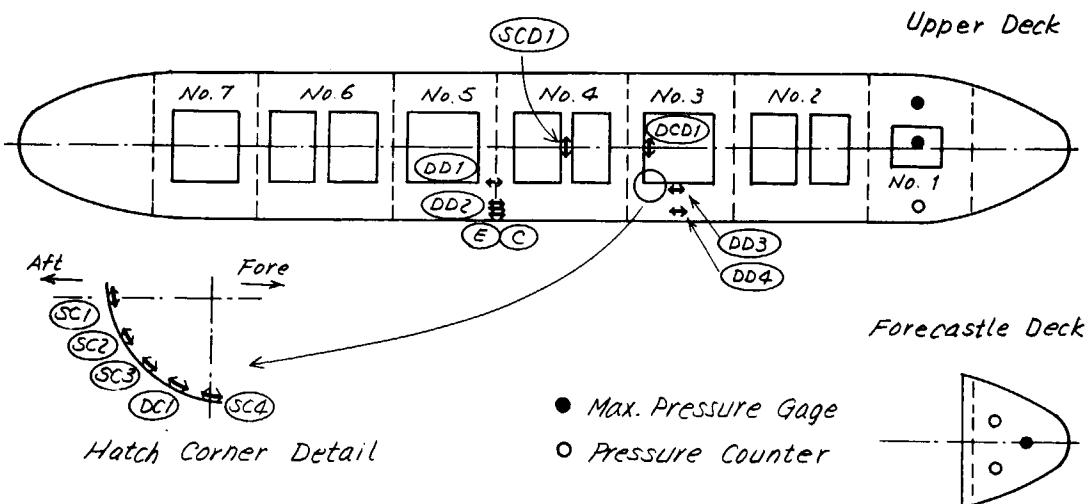


Fig. 2. 2. 8 Strain and pressure gages on upper deck (KIMI MARU)

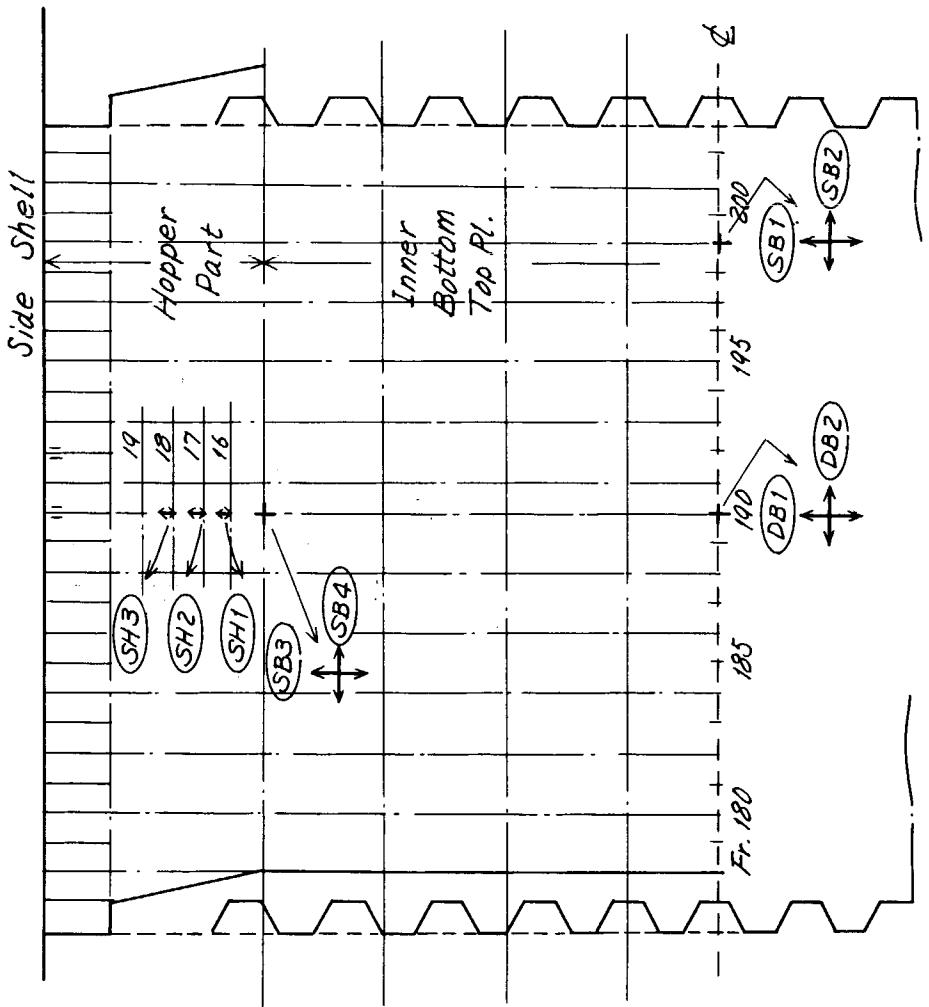


Fig. 2.2.10 Strain gages on inner bottom plates of No. 3 cargo hold  
(KIMI MARU)

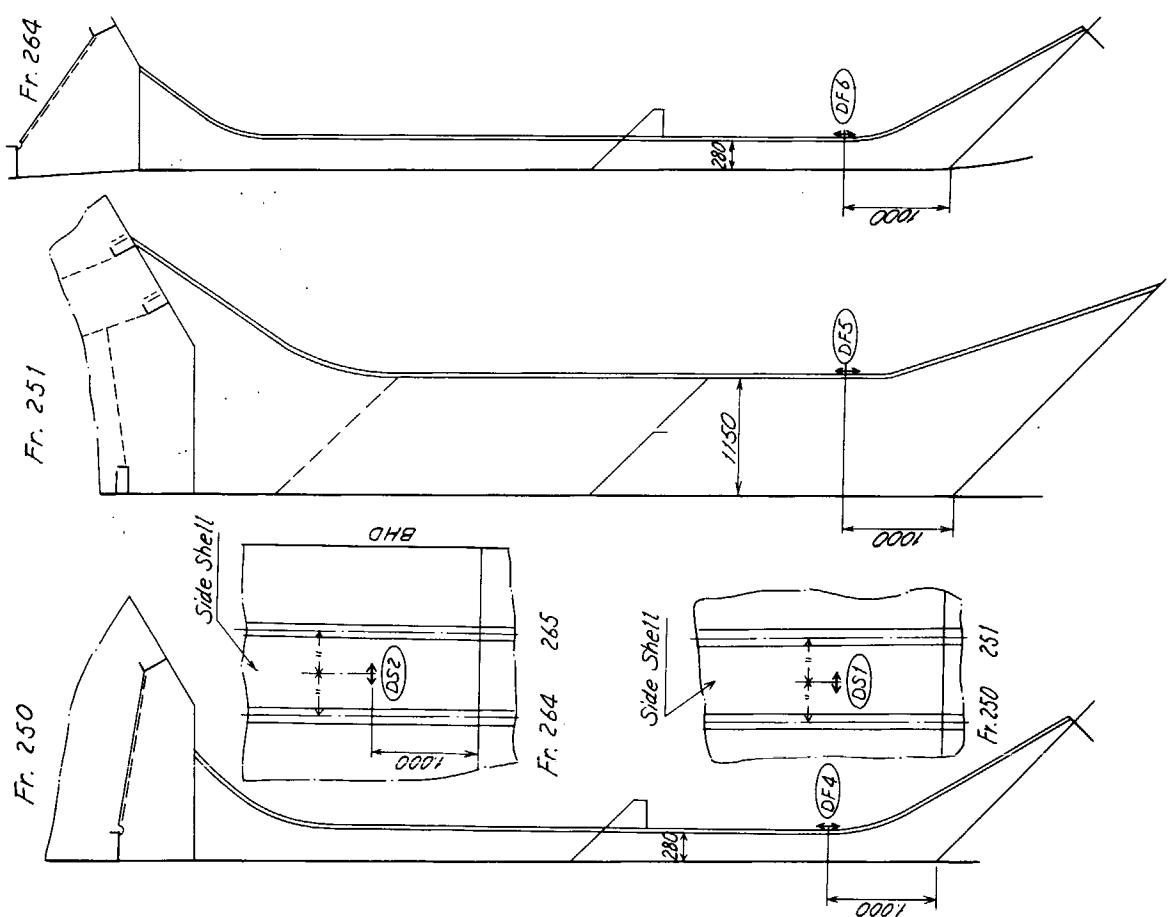


Fig. 2.2.9 Strain gages in No. 1 cargo hold (KIMI MARU)

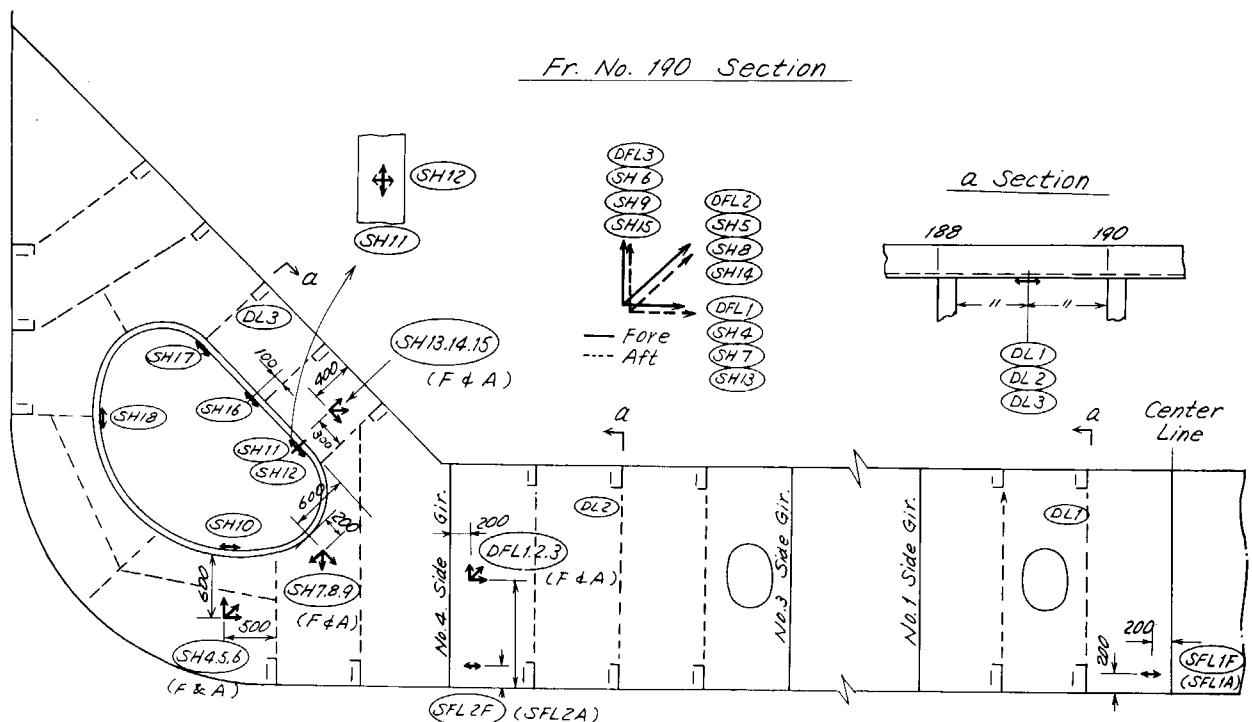
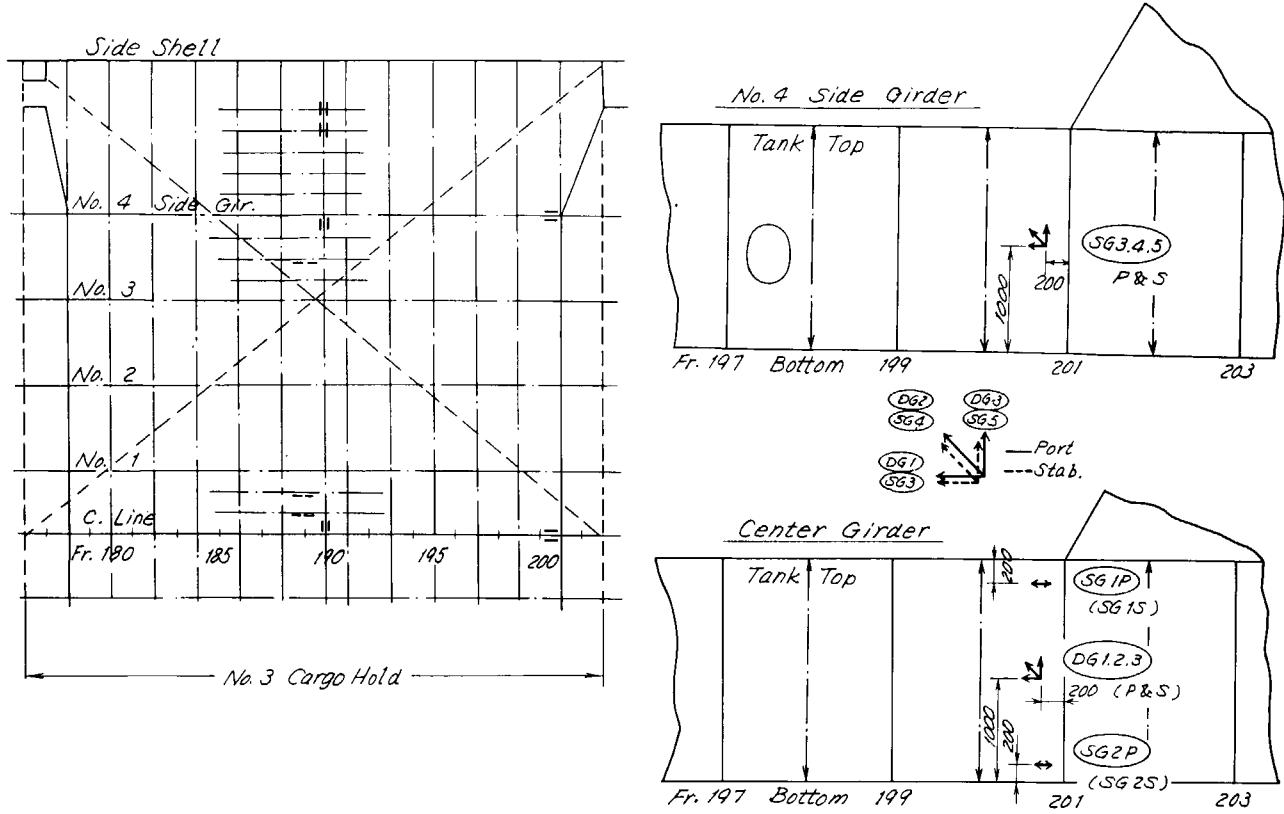


Fig. 2.2.12 Strain gages in double bottom (KIMI MARU)

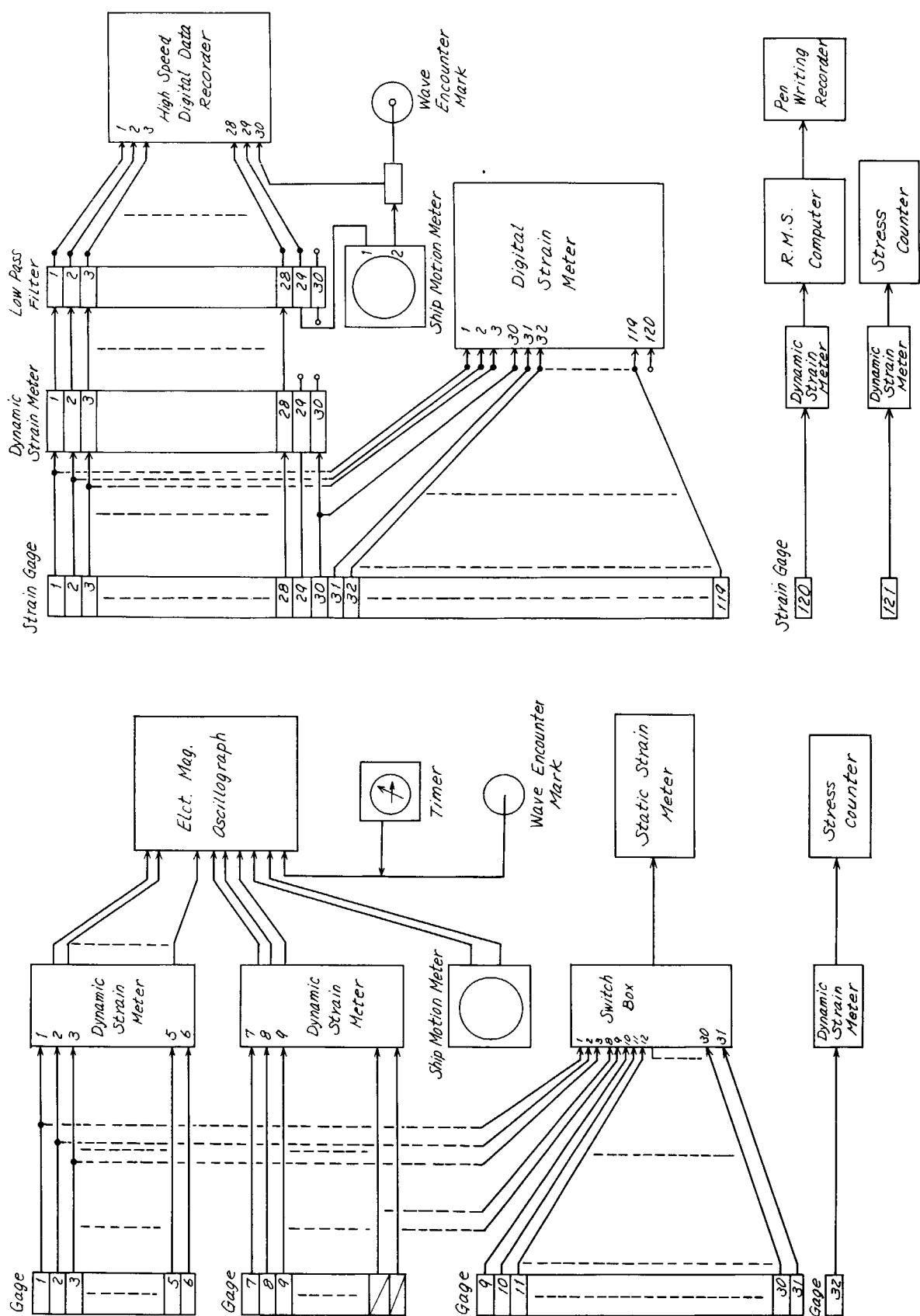


Fig. 2.2.13 Block diagram of measurement (YAKUMOKAWA MARU)

Fig. 2.2.14 Block diagram of measurement (SHOBU MARU & KIMI MARU)

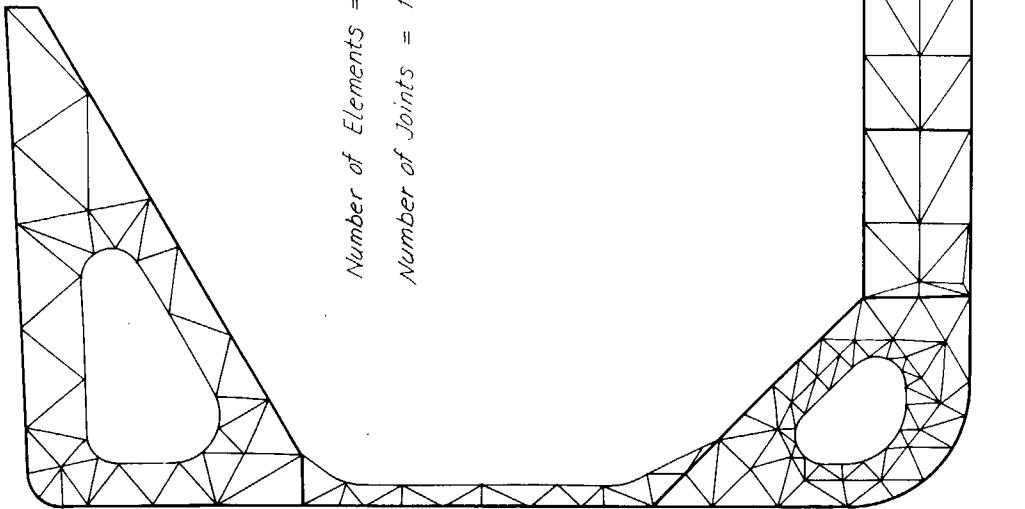


Fig. 3.1.6 Finite elements division of transverse ring (KIMI MARU)

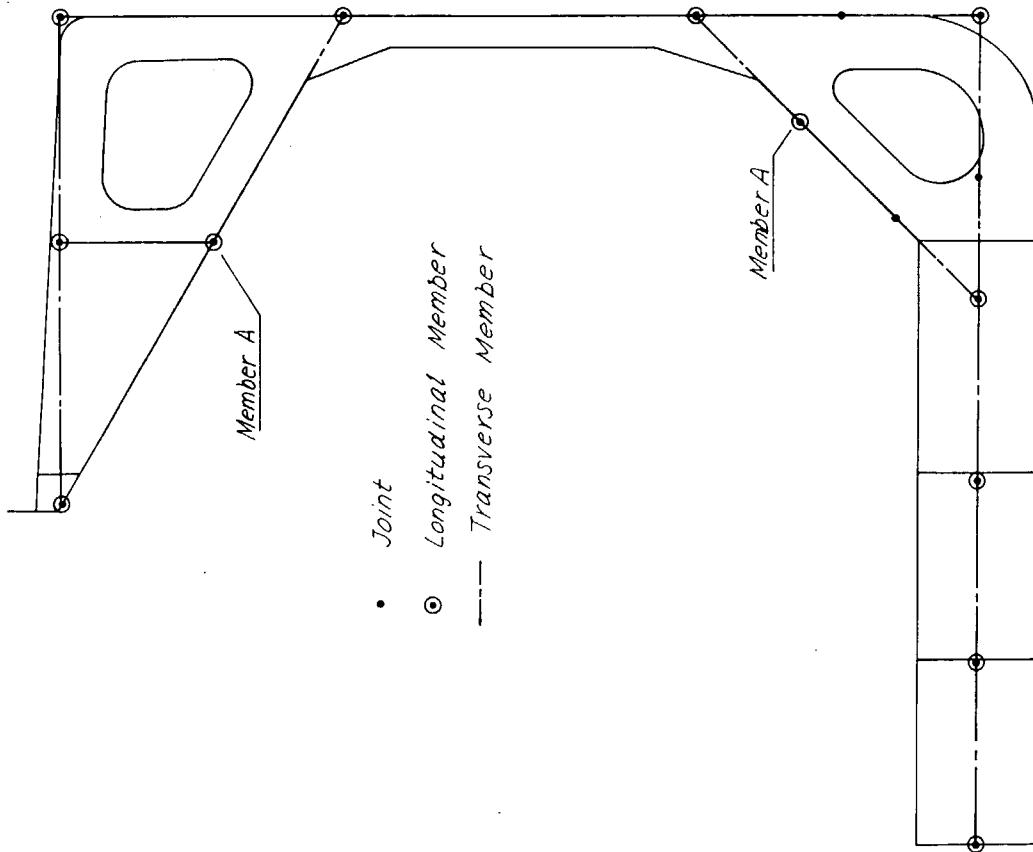


Fig. 3.1.1 Typical section of 3-dimensional model

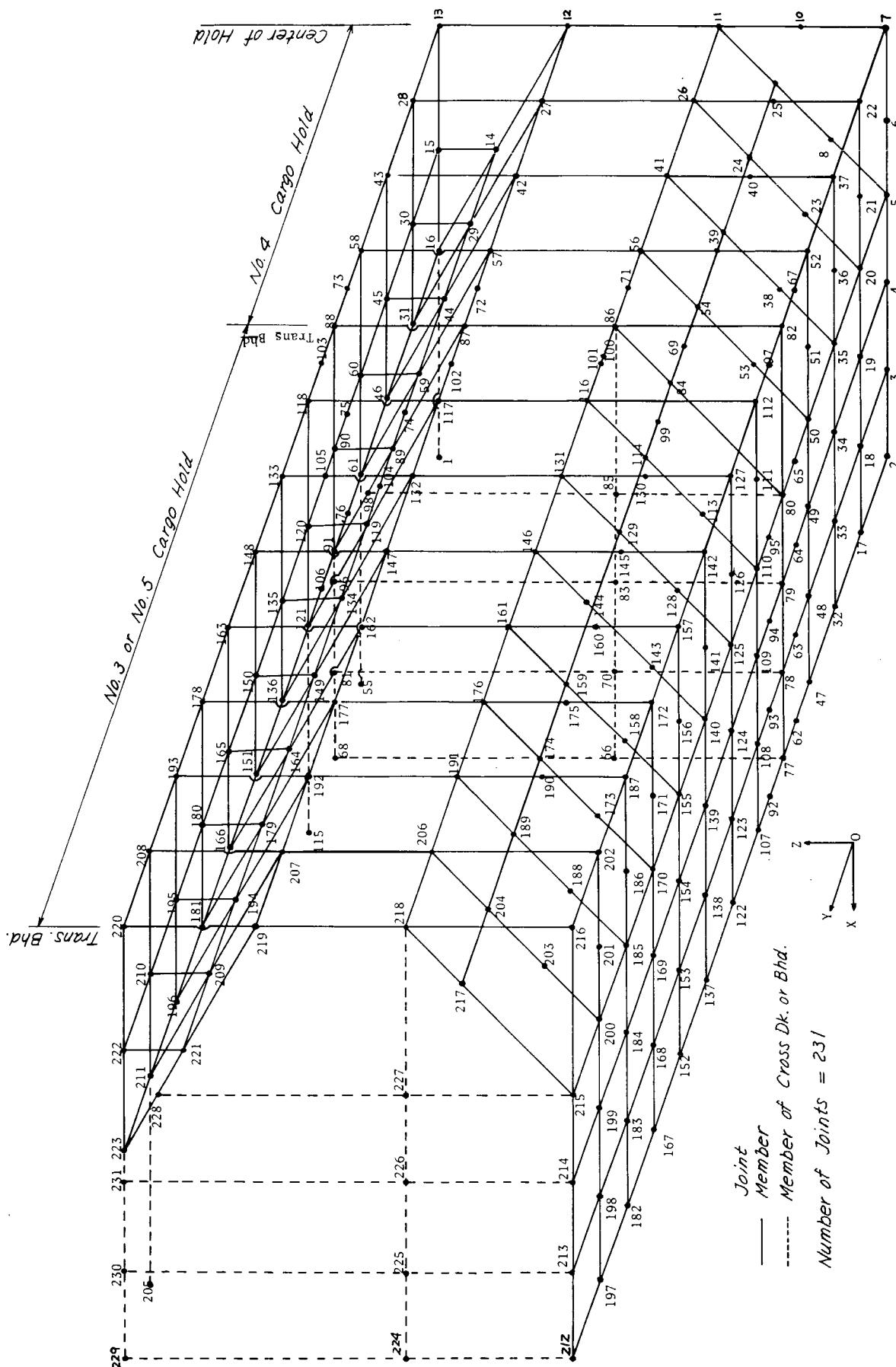


Fig. 3.1.2 Three dimensional frame structure model of bulk carrier  
(1.5 cargo hold)

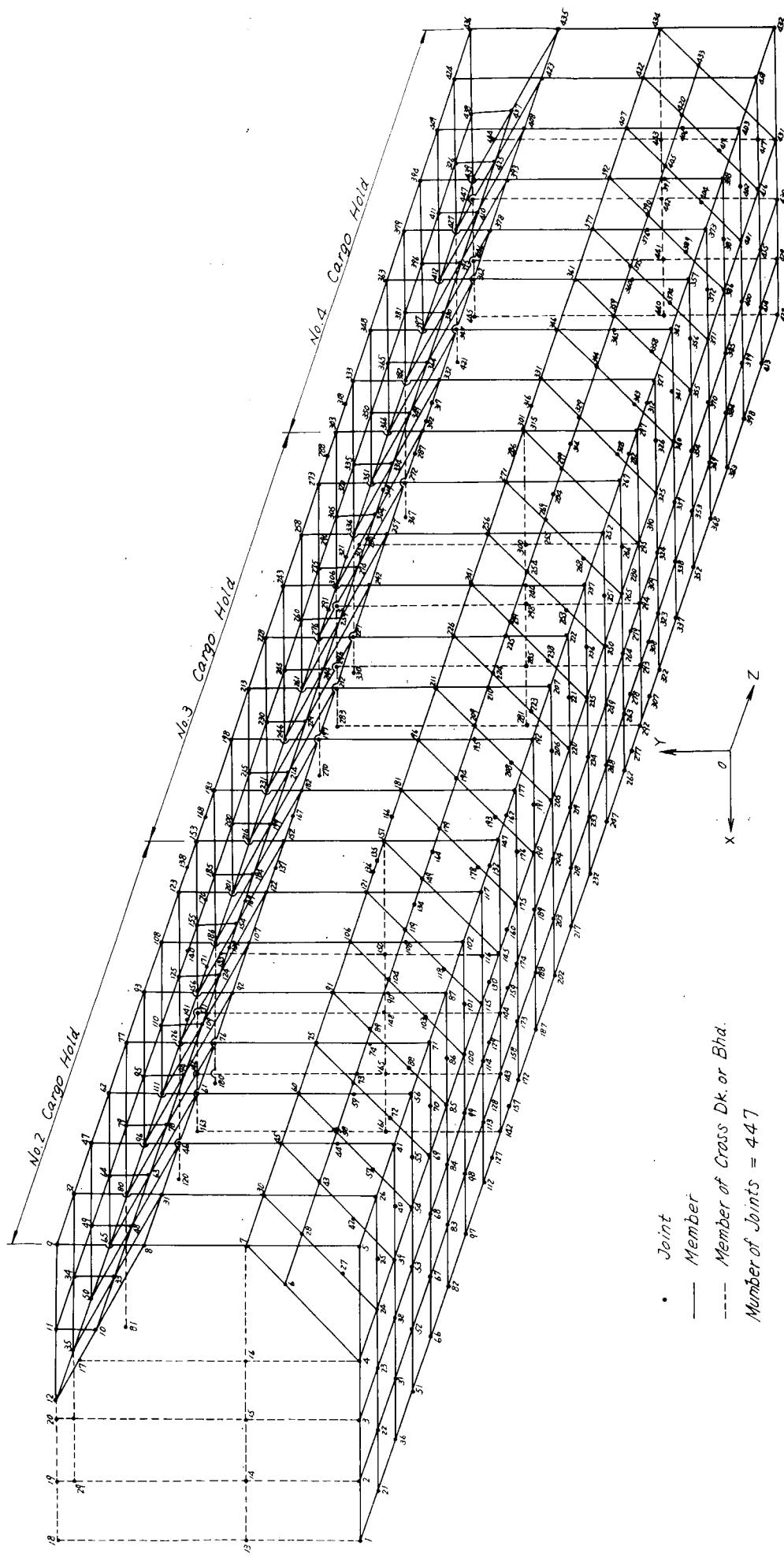


Fig. 3.1.3 Three dimensional frame structure model of bulk carrier  
(3 cargo hold)

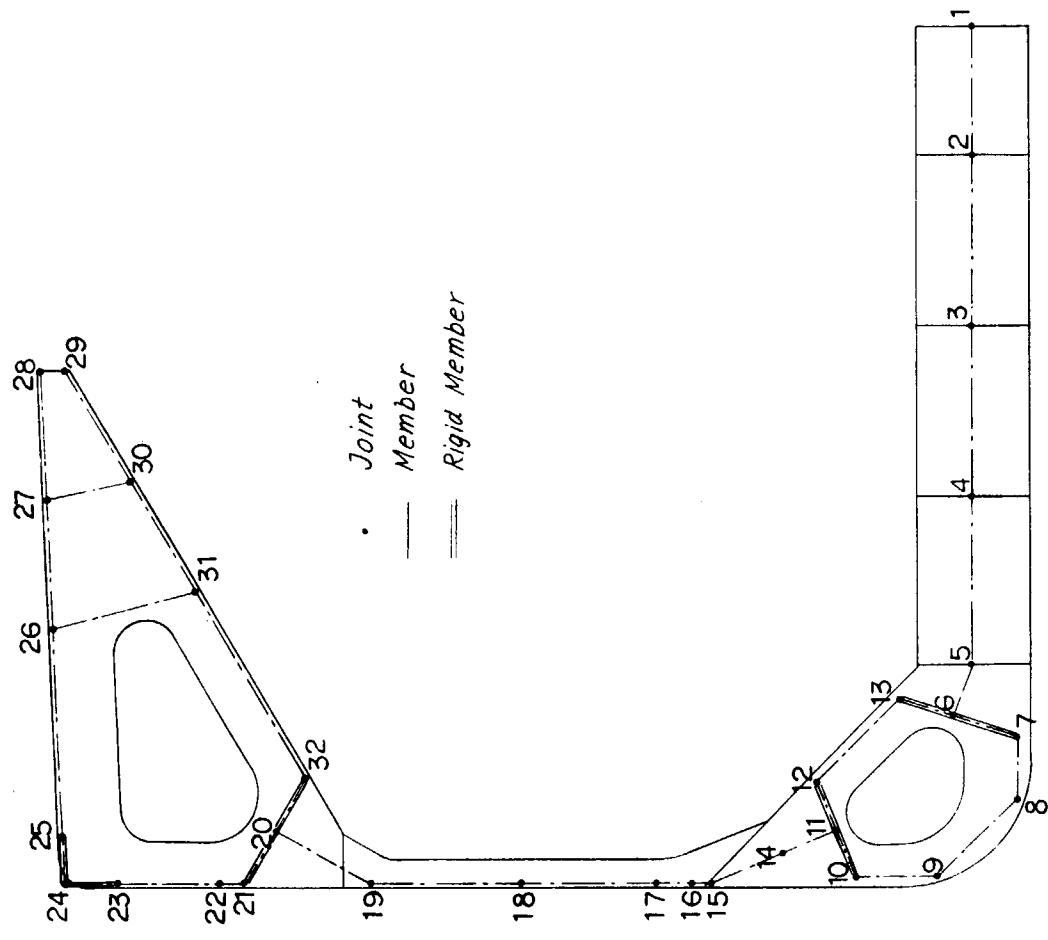


Fig. 3.1.5 Model of a transverse ring (KIMI MARU)

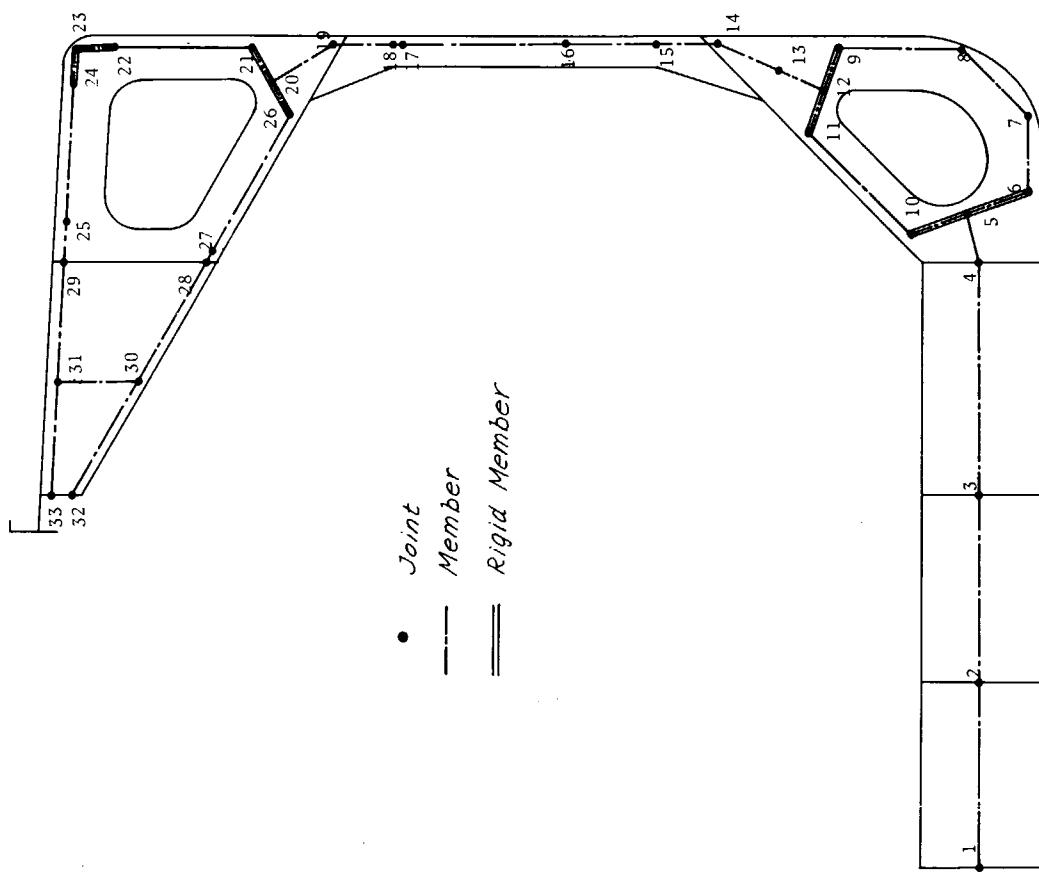
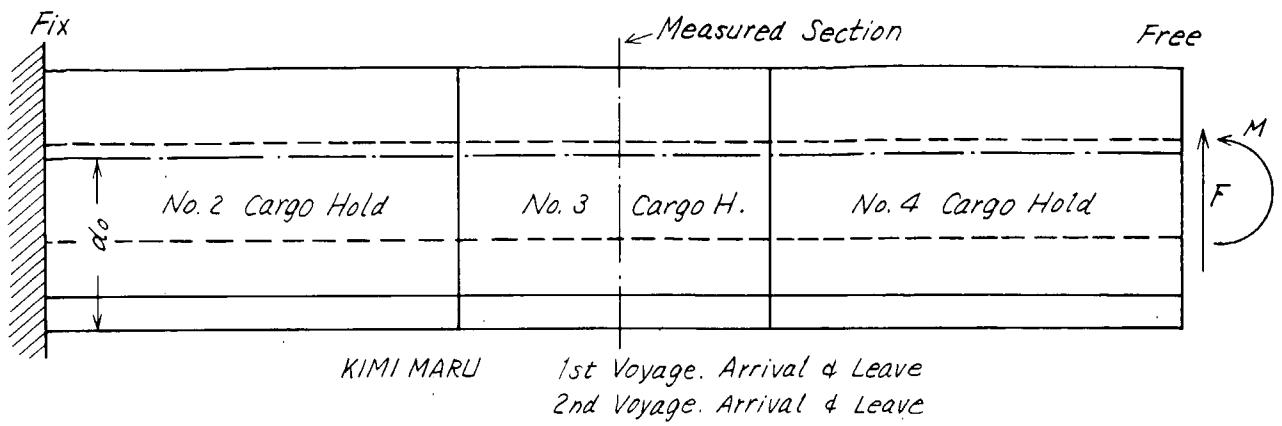
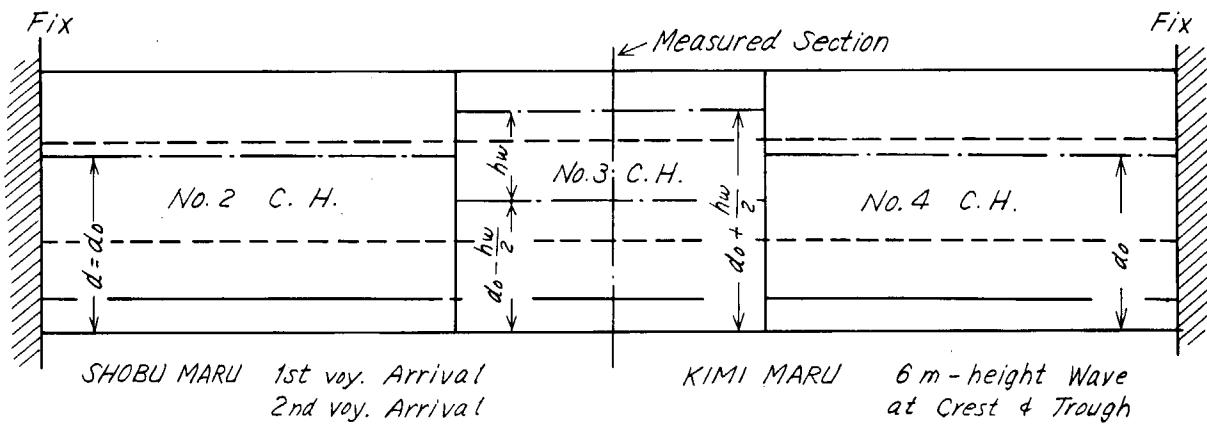


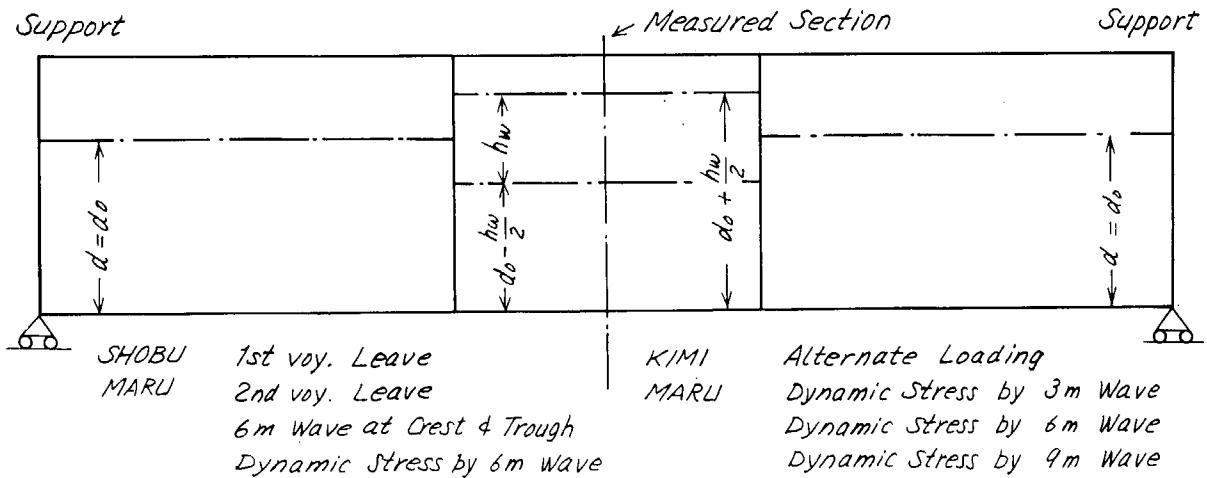
Fig. 3.1.4 Model of a transverse ring (SHOBU MARU)



(1) Boundary Condition 1



(2) Boundary Condition 2



(3) Boundary Condition 3

Fig. 3. 2. 1      Boundary conditions for 3 dimensional frame structures

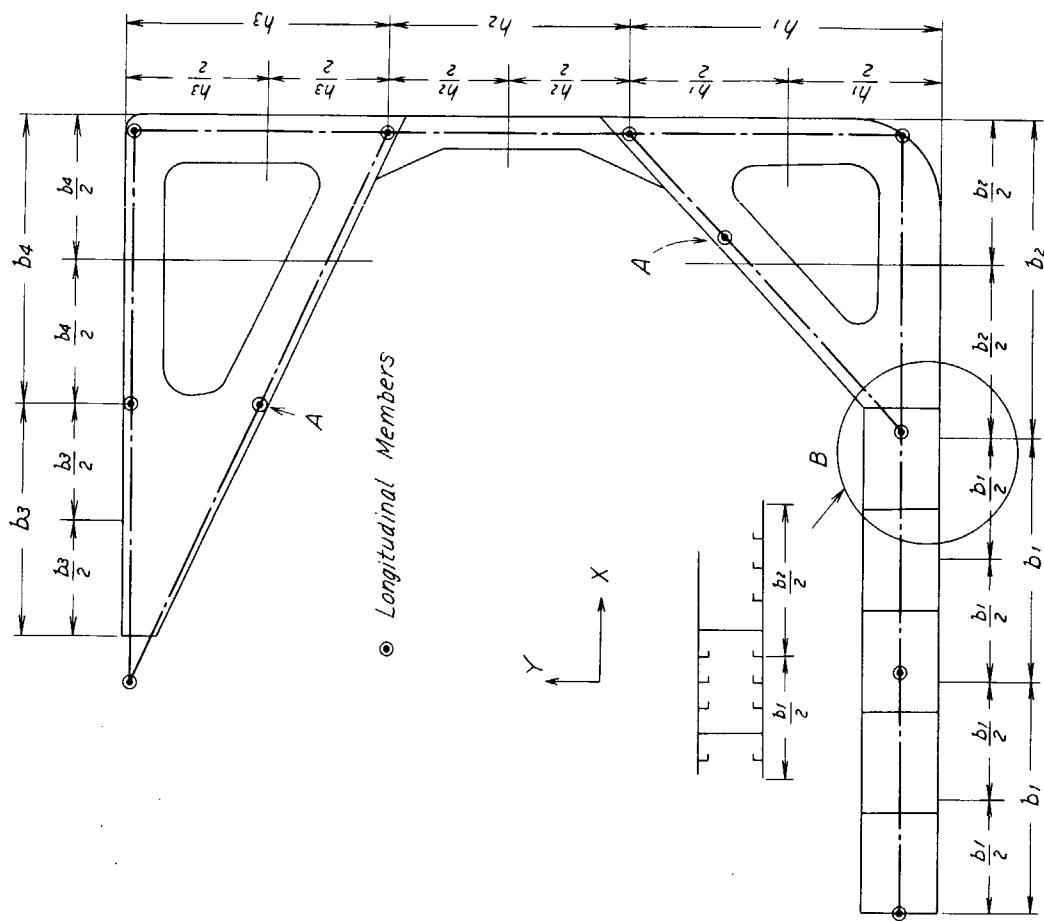


Fig. 3.2.3 Members around hopper tank and top side tank

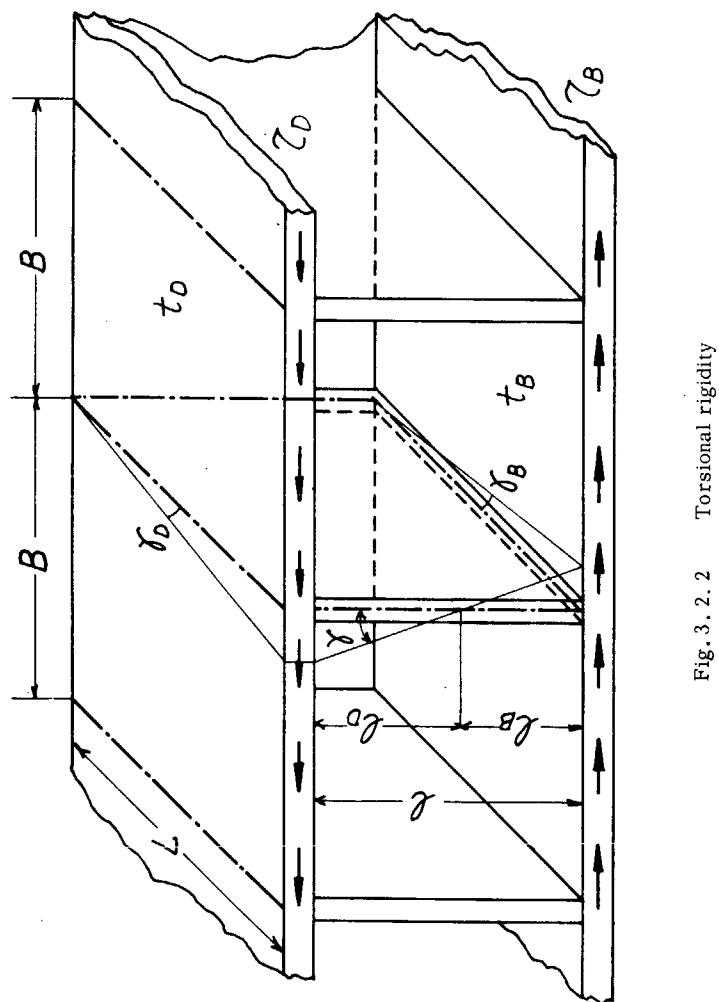


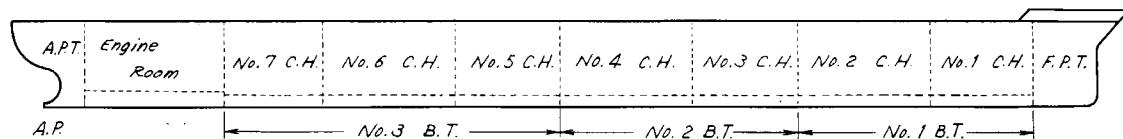
Fig. 3.2.2 Torsional rigidity

Tab. 3.3.1 Loading conditions (SHOBU MARU)

Weight		Position		A.P.T	TOP Side Tank	No.7 C.H.	No.6 C.H. No.3 B.T.	No.5 C.H.	No.4 C.H. No.2 B.T.	No.3 C.H.	No.2 C.H. No.1 B.T.	No.1 C.H.	F.P.T.	Total
Capacity	Ballast Tank (t)	735	8,836			(13,773) 2,557	(8,024)	(15,971)* 4,613			3,944		4,843	(37,768) 25,528
	Cargo Hold (m³)					14,875	13,437	7,828	15,581	8,932	13,651	10,096		84,400
1st Voyage	Ballast Wt. before Loading (t)	649	8,849			(3,430)		(7,510)* X2			13,446	X2		(12,940) 22,944
	Ore Wt. after Loading (t)			15,900				15,700		17,800	3,759	9,500		62,659
2nd Voyage	Ballast Wt. before Loading (t)	694	8,347			2,547		(8,017) 0			3,956		2,455	17,999
	Ore Wt. after Loading (t)			15,139		0	15,697			17,881	3,851	9,550		62,118
Fukuyama	Ore Wt. before Unloading (t)			15,139		0	15,697			17,881	3,851	9,550		62,118
	Ballast Wt. after Unloading (t)													

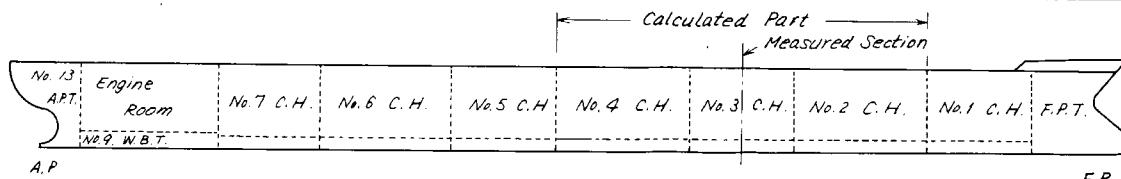
\*1 : ( ) Shows Hold Ballasting

\*2 : 13,446 t is Total Ballast Wt. of F.P.T., No.1 B.T. and No.2 B.T.



Tab. 3.3.2 Loading conditions (KIMI MARU)

Weight		Position		A.P.T	No.13	No.9	No.7	No.6	No.5	No.4	No.3	No.2	No.1	F.P.T.	Total
Capacity	Ballast Tank (t)	317	267	124	2,165	3,441	2,327	3,104	3,128	4,115	2,393	3,543		24,924	
	Cargo Hold (m³)					9,460	12,999	9,623	12,938	9,662	12,945	8,267		75,894	
1st Voyage	Ballast Wt. before Loading (t)	316	267	124	2,165	3,441	2,326	3,104	3,128	4,114	2,392	3,546		22,273	
	Ore Wt. after Loading (t)					7,874	10,820	7,671	9,775	7,112	10,262	6,706		60,220	
2nd Voyage	Ballast Wt. before Loading (t)	317	267	124	2,165	3,441	2,327	3,104	3,129	4,111	2,391	3,001		22,377	
	Ore Wt. after Loading (t)					7,710	11,011	7,262	7,185	6,769	10,372	6,818		57,129	



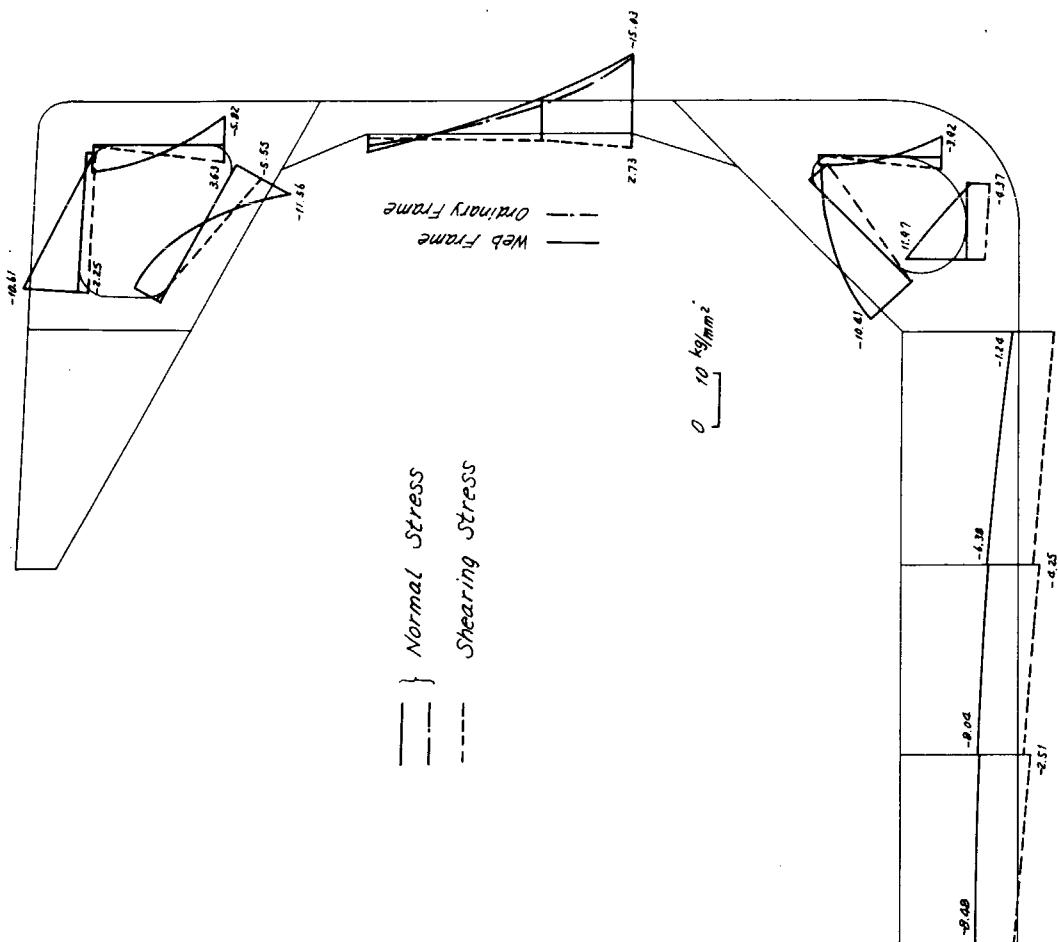


Fig. 3.3.1 Stress by loading (SHOBU MARU, 1st voyage, St. Nicolas)

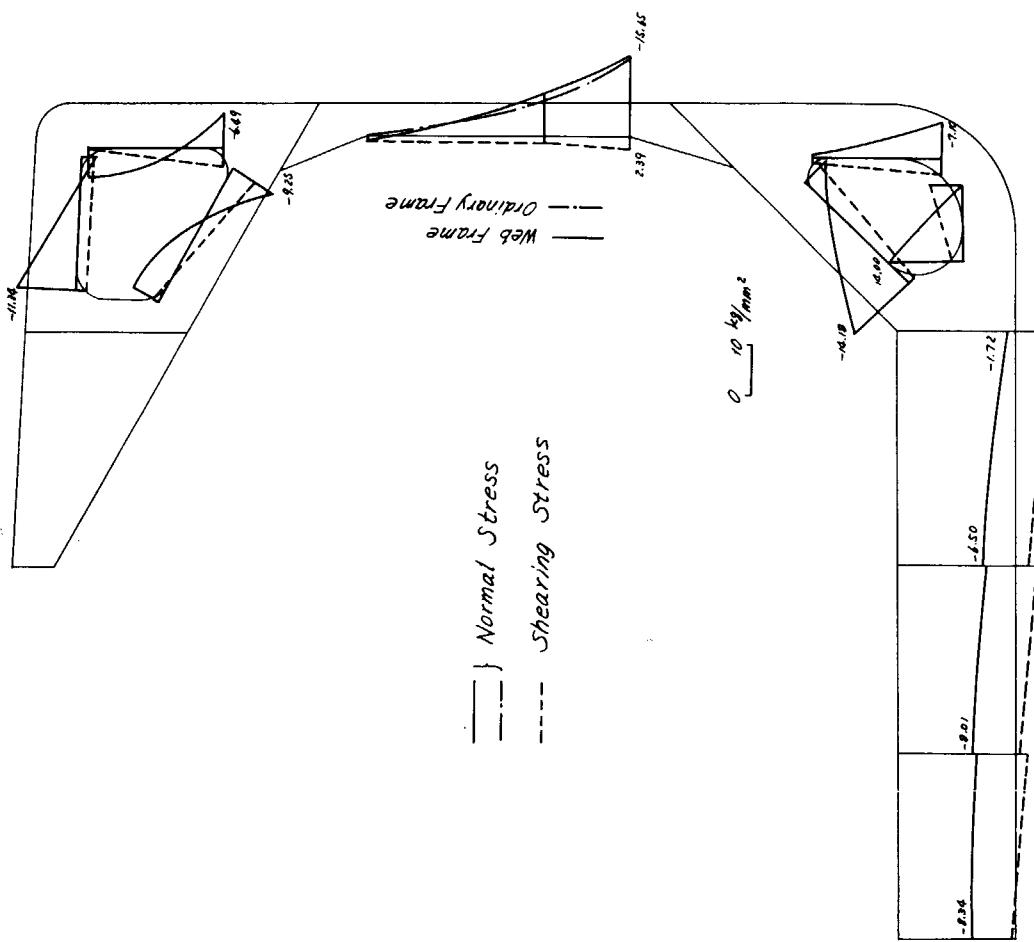


Fig. 3.3.2 Stress by loading (SHOBU MARU, 2nd voyage, Port Headland)

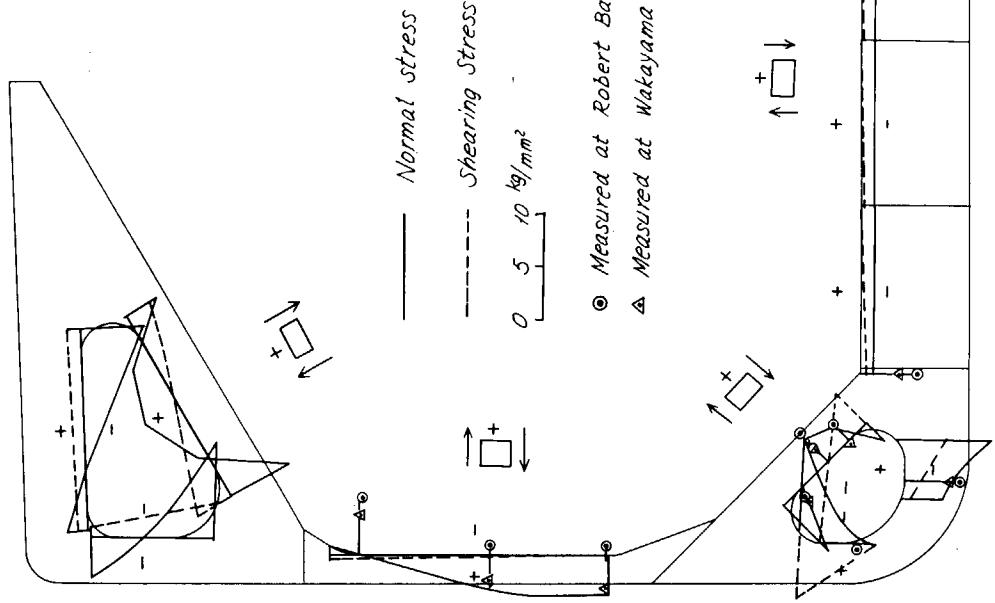


Fig. 3.3.4 Stress by loading (KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank)

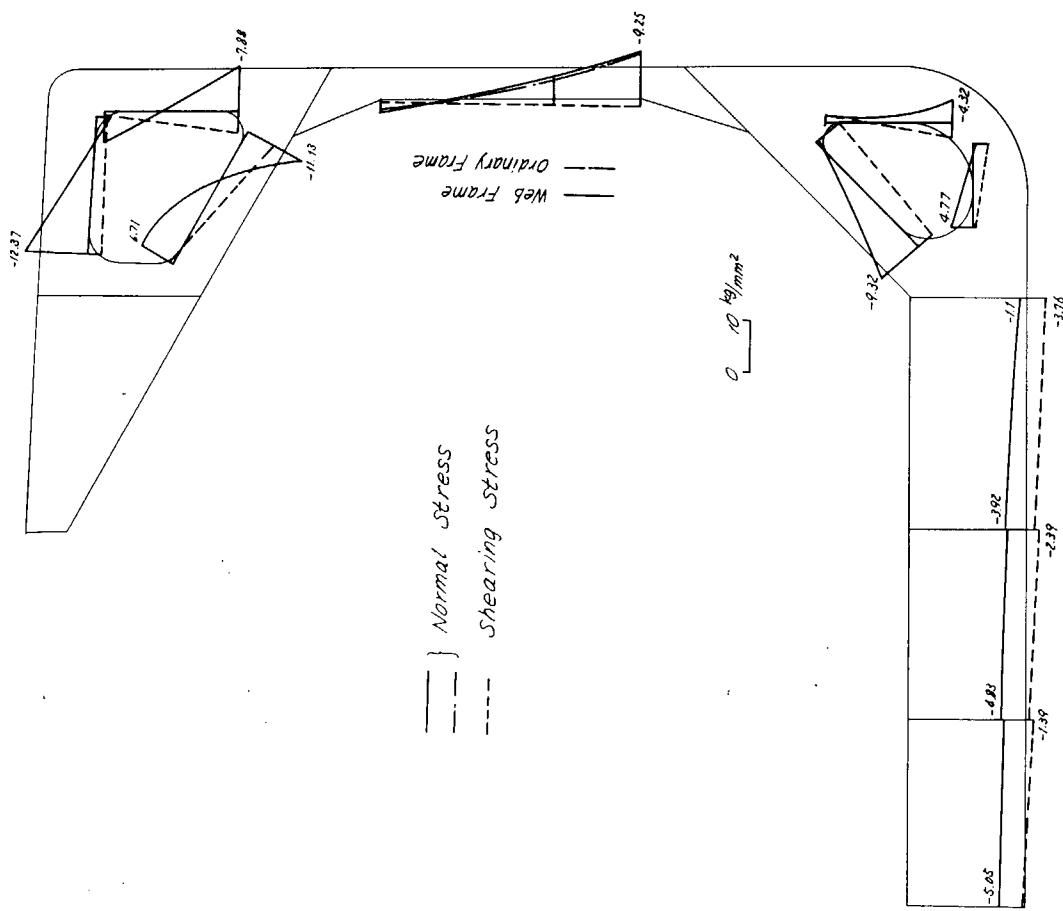


Fig. 3.3.3 Stress by unloading (SHOBU MARU, 2nd voyage, Fukuyama)

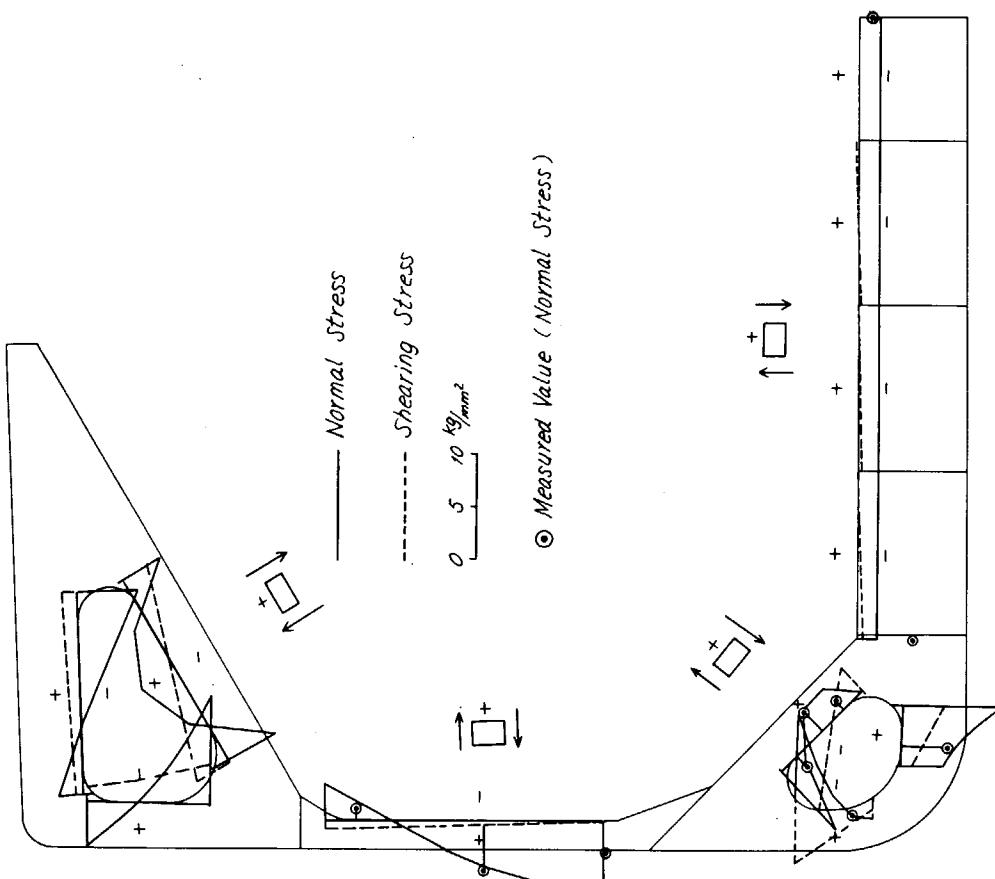
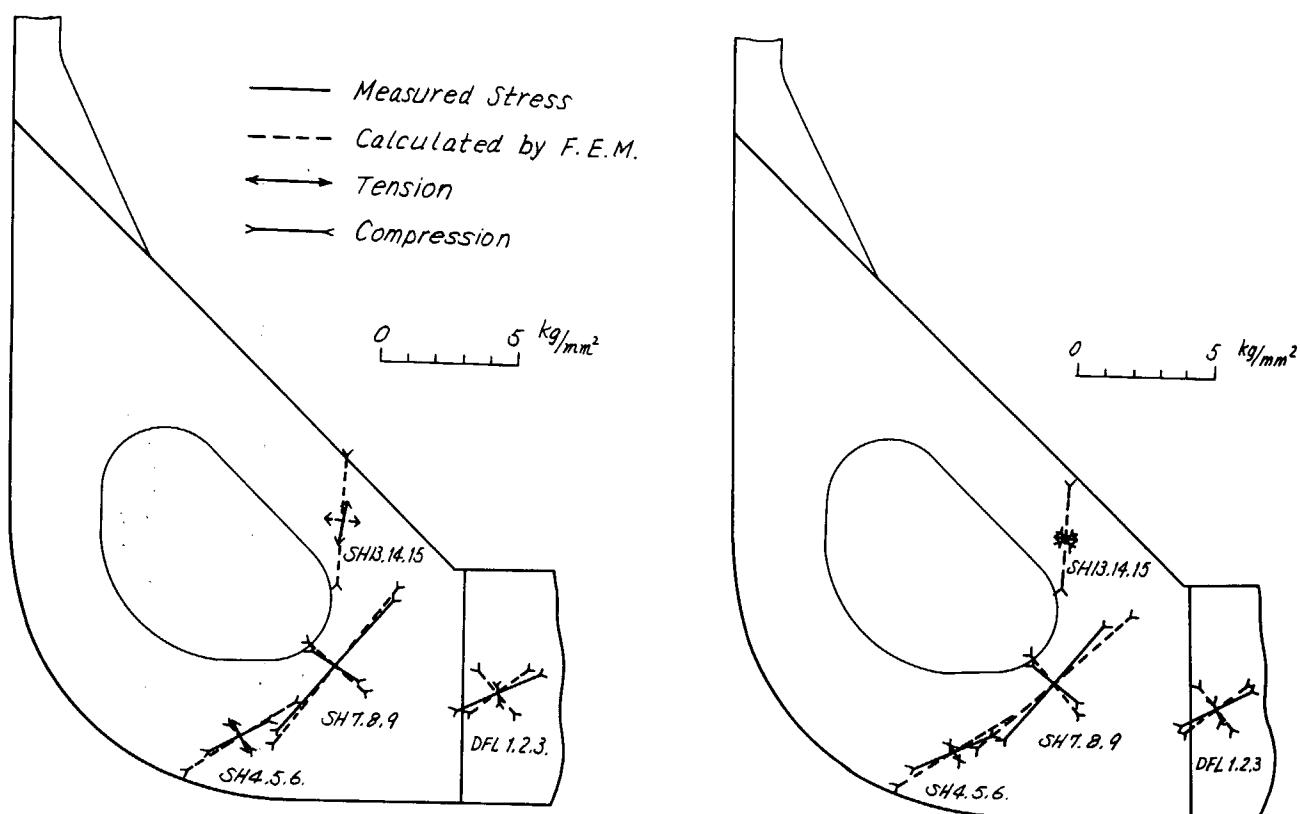


Fig. 3.3.5 Stress by loading (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk)



1st Voyage, at Robert Bank

2nd Voyage, at Norfork

Fig. 3.3.8 Comparison of measured and calculated stress (KIMI MARU)

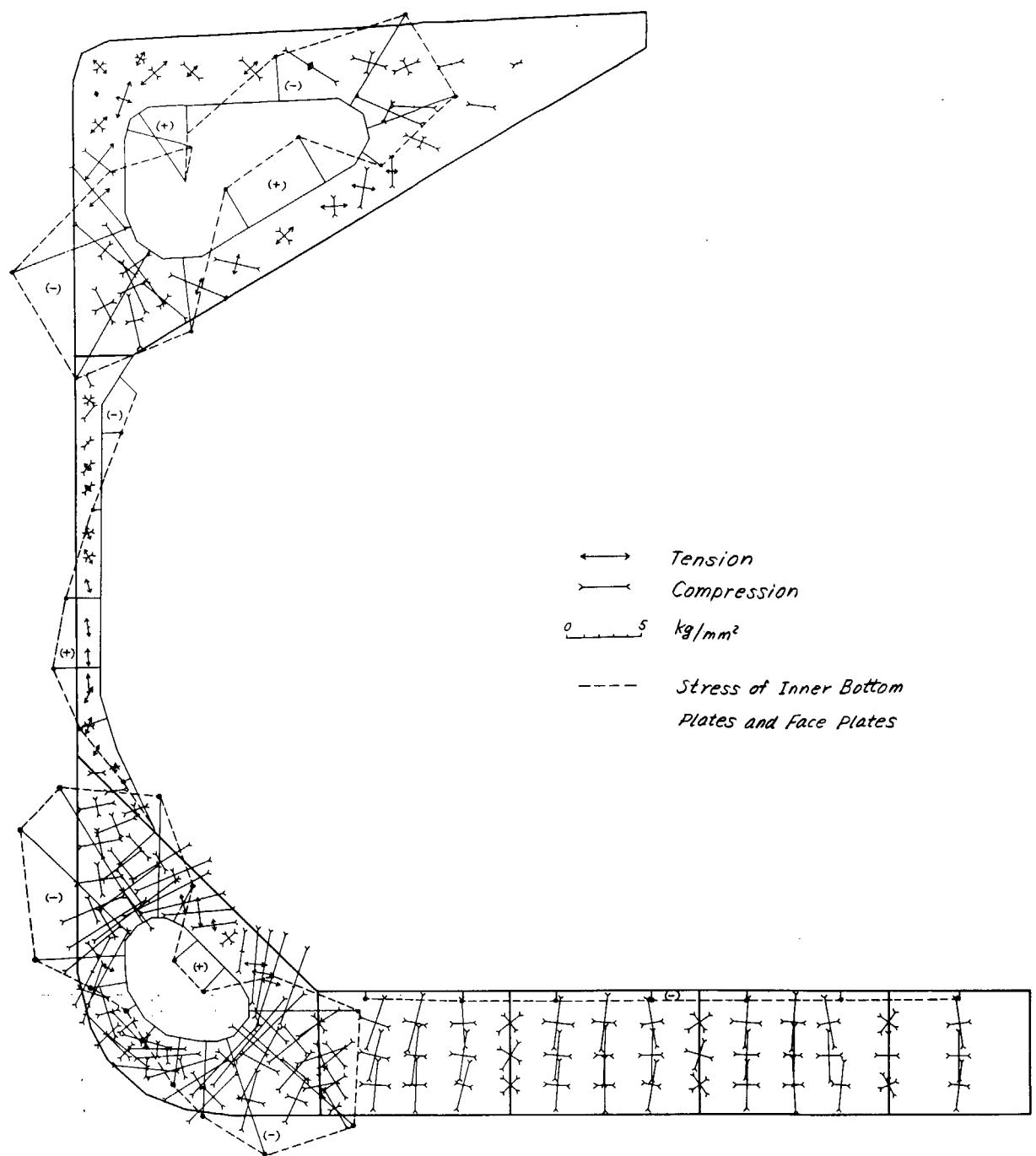


Fig. 3.3.6 Stress by loading calculated by F. E. M.  
(KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank)

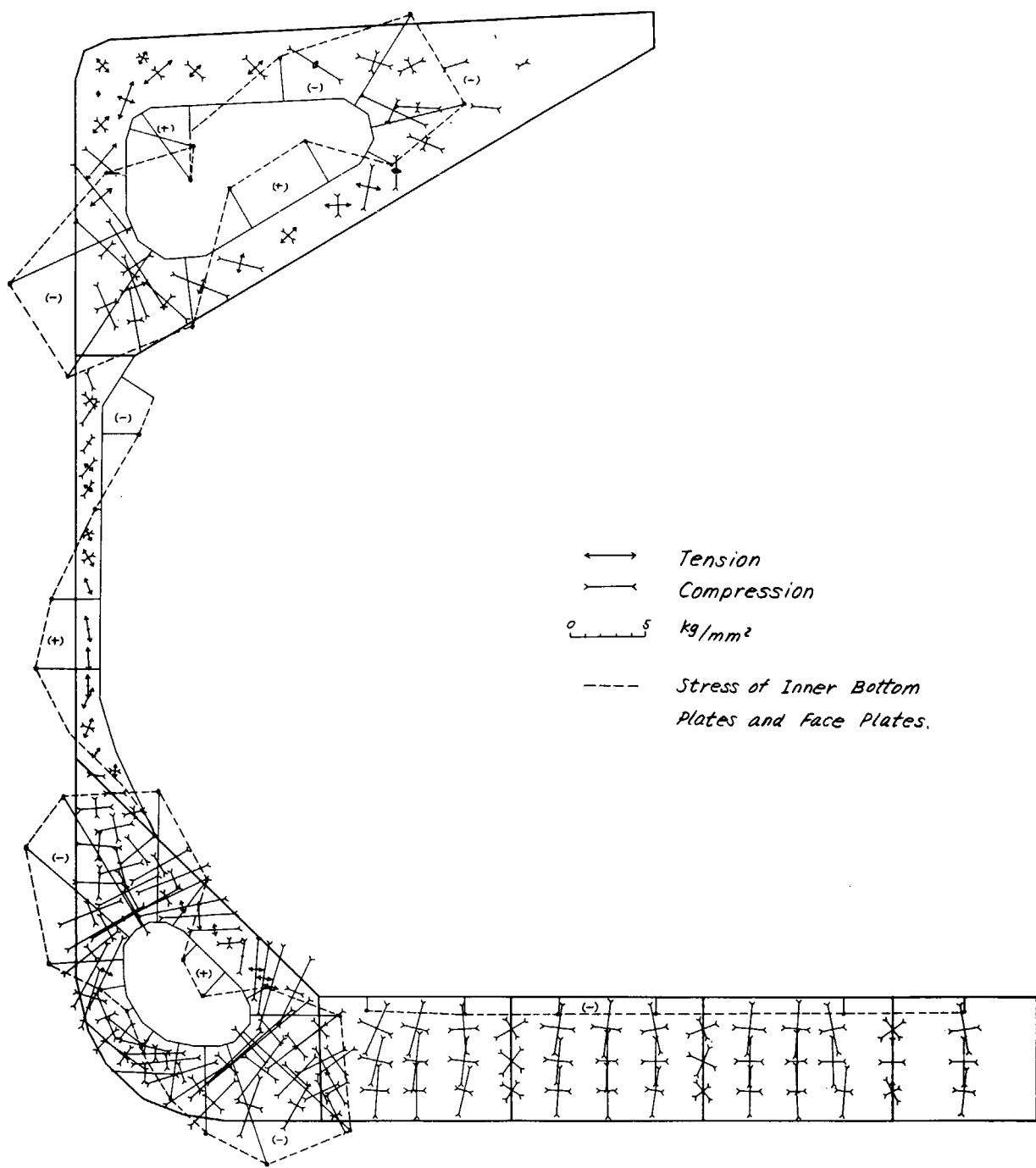


Fig. 3.3.7    Stress by loading calculated by F. E. M.  
 (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk)

Tab. 4. 1. 1 Ships used for observation

Route	Ship	Type	D, W(t)	Period	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Reference
North Pacific	OSHIMA MARU	Cargo	12,033	Dec. 60 - Feb. 61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9)
	MONTANA MARU	Cargo	13,361	Dec. 60 - Feb. 61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9)
	HUDSON MARU	Cargo	12,151	Feb. 61 - Apr. 61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10)
	YAMATAKA MARU	Cargo	12,701	Nov. 63 - Jan. 64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10)
	SEATTLE MARU	Cargo	12,022	DEC. 65 - Mar. 66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11)
	YAKUMOKAWA MARU	Bulk/Ore	64,880	NOV. 69 - DEC. 69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1)
	KIMI MARU	Bulk/Ore	62,325	JUN. 70 - JUL. 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2)
	KIMI MARU	Bulk/Ore	62,325	JUL. 70 - SEP. 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13)
	KIMI MARU	Bulk/Ore	62,325	DEC. 70 - JAN. 71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14)
Australia	YAKUMOKAWA MARU	Bulk/Ore	64,880	AUG. 69 - SEP. 69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1)
	SHOBU MARU	Bulk/Ore	63,420	JAN. 70 - FEB. 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1)
	KASAGISAN MARU	Ore	117,571	JUN. 71 - JUL. 71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13)
	KASAGISAN MARU	Ore	117,571	JUL. 71 - AUG. 71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14)
	KASAGISAN MARU	Ore	117,571	OCT. 71 - NOV. 71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13)
	KASAGISAN MARU	Ore	117,571	DEC. 71 - JAN. 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14)
	KASAGISAN MARU	Ore	117,571	JAN. 72 - FEB. 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Unpub- lished
	WAKAHATA MARU	Ore	93,113	JAN. 72 - FEB. 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Unpub- lished
South America	WAKAHATA MARU	Ore	93,113	FEB. 72 - MAR. 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Unpub- lished
	PORTLATTA MARU	Ore	93,356	FEB. 72 - FEB. 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Unpub- lished
South America	SHOBU MARU	Bulk/Ore	63,420	NOV. 69 - JAN. 70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1)
	KASAGISAN MARU	Bulk/Ore	117,571	JAN. 71 - MAR. 71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13)
Arabia	TOKYO MARU	Oil	150,000	OCT. 66 - NOV. 66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7)
	TOKYO MARU	Oil	150,000	NOV. 66 - DEC. 66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,12)
	TOKYO MARU	Oil	150,000	DEC. 66 - JAN. 67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7)
	TOKYO MARU	Oil	150,000	JAN. 67 - MAR. 67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,12)
	TOKYO MARU	Oil	150,000	MAR. 67 - APR. 67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7)
	MEISEN MARU	Oil	152,852	AUG. 68 - SEP. 68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7)

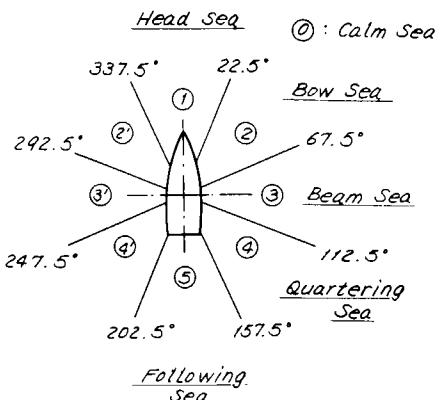


Fig. 4. 1. 1 Encountering angle

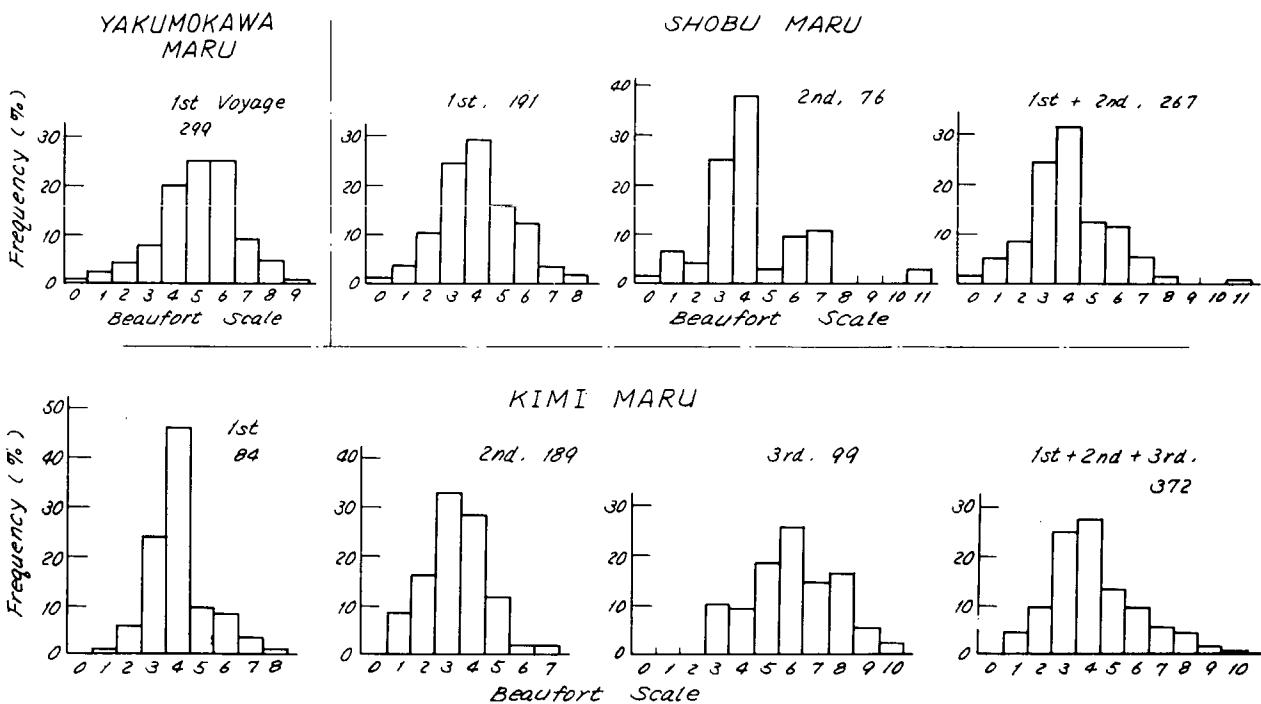


Fig. 4.2.1 Histogram of Beaufort scale in these tests

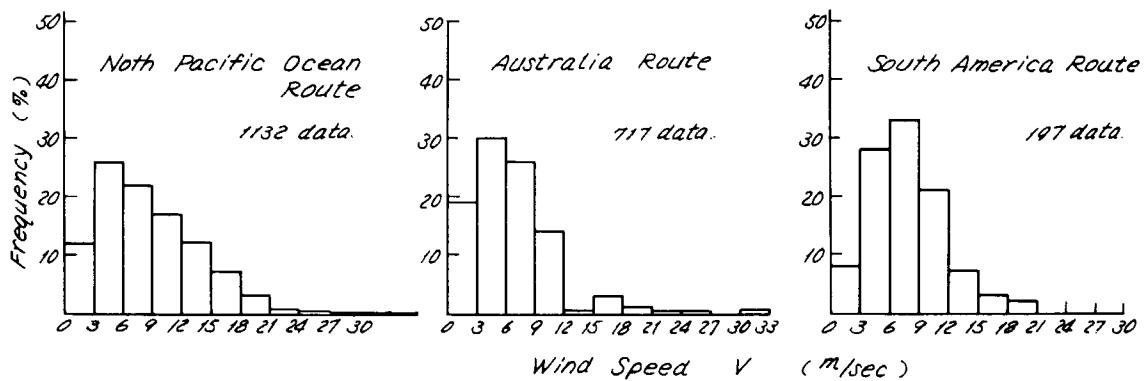
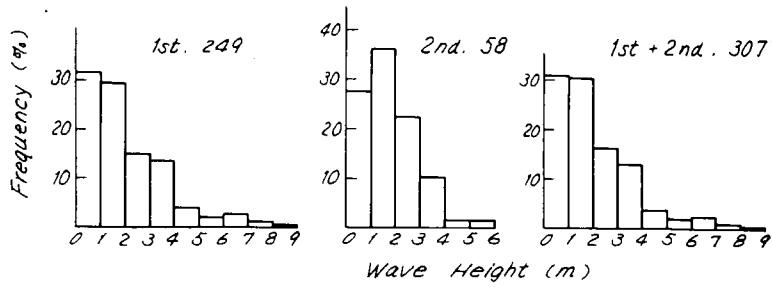
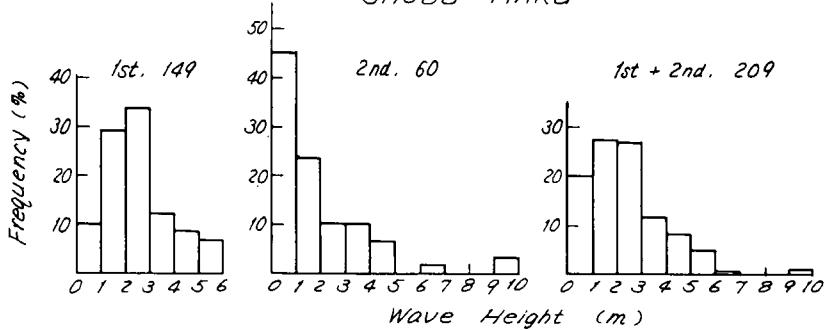


Fig. 4.2.11 Histogram of wind speed

YAKUMOKAWA MARU



SHOBU MARU



KIMI MARU

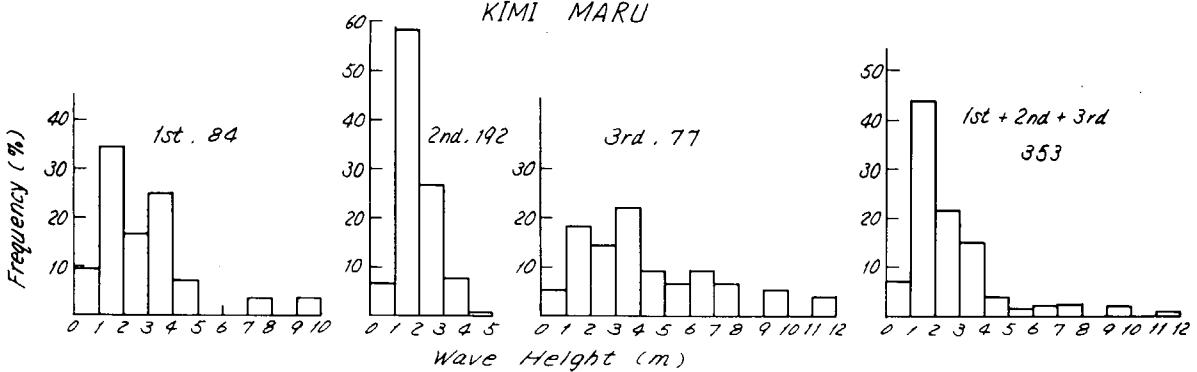


Fig. 4. 2. 2 Histogram of wave height in these tests

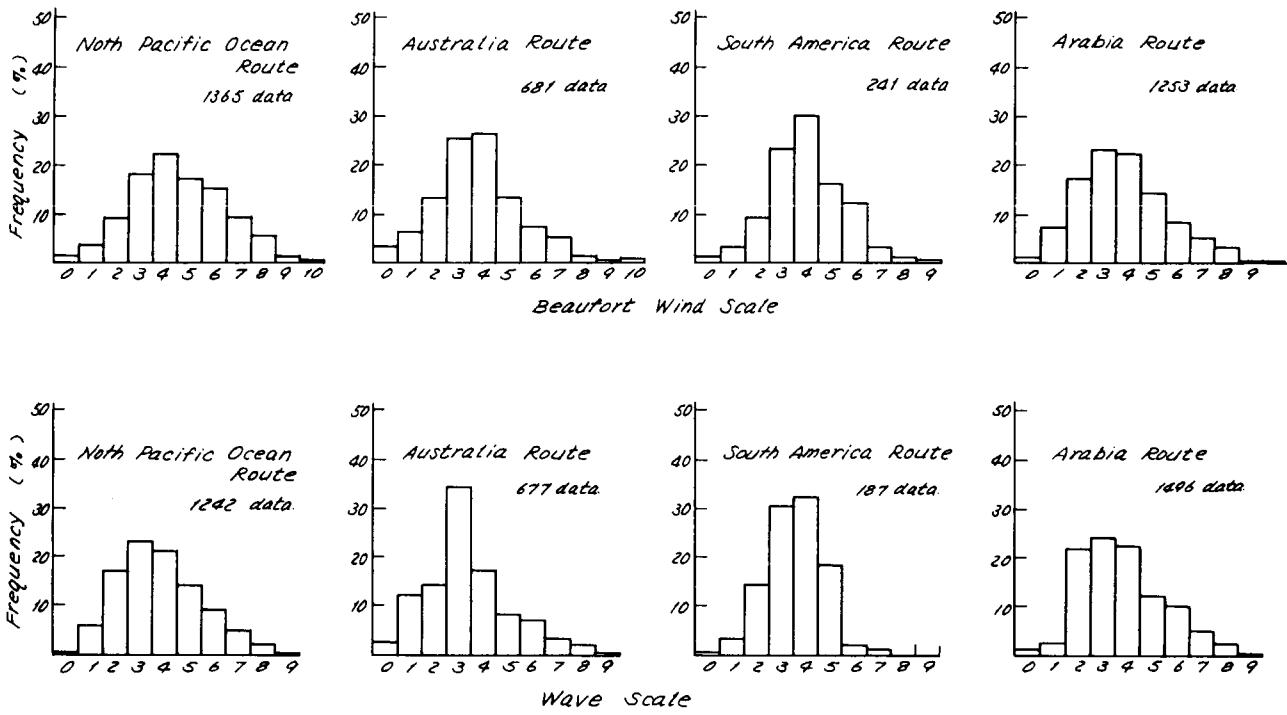


Fig. 4.2.3 Histogram of Beaufort scale and wave state in each route

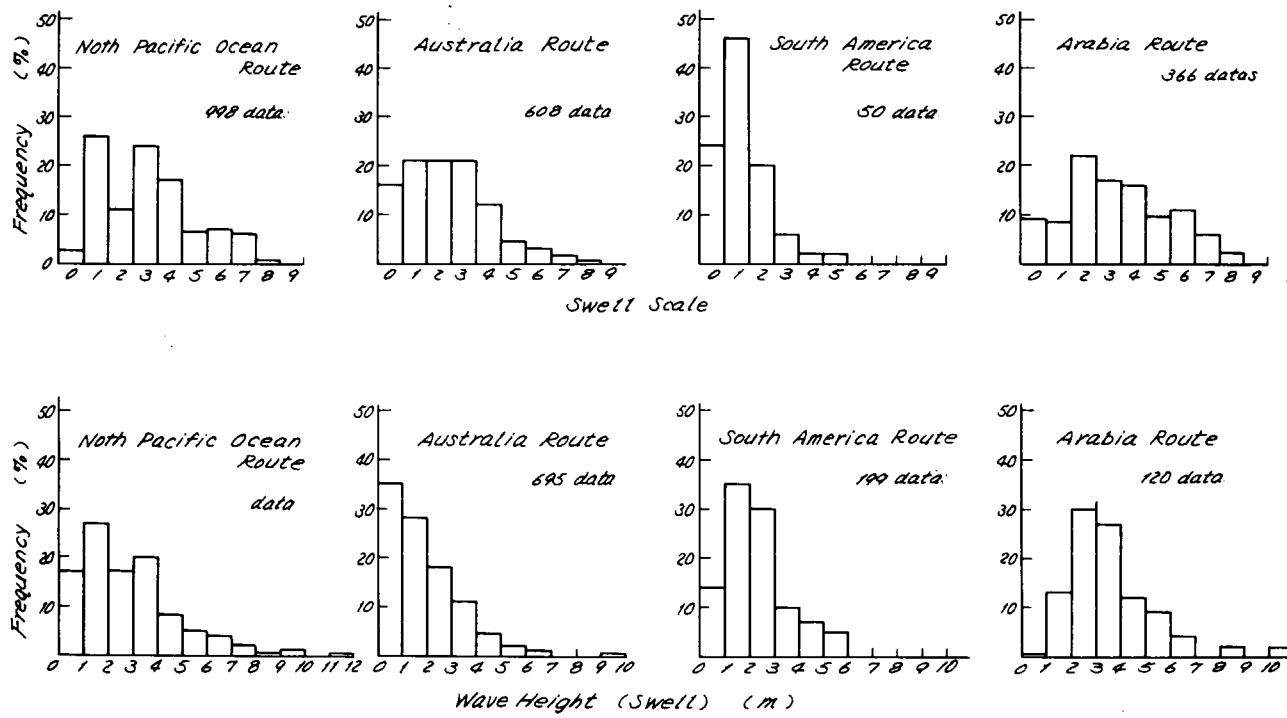


Fig. 4.2.4 Histogram of swell state and swell height in each route.

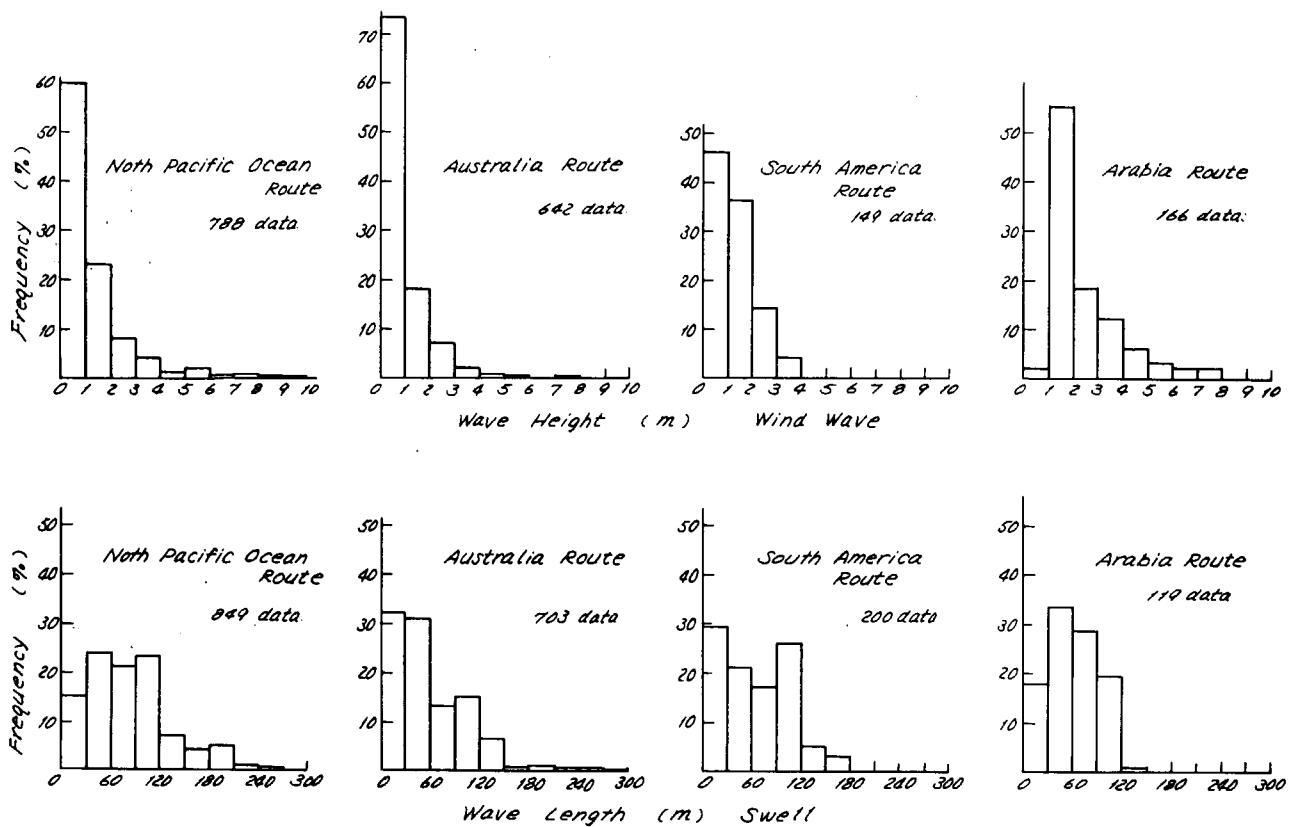


Fig. 4. 2. 5 Histogram of wave height and wave length in each route

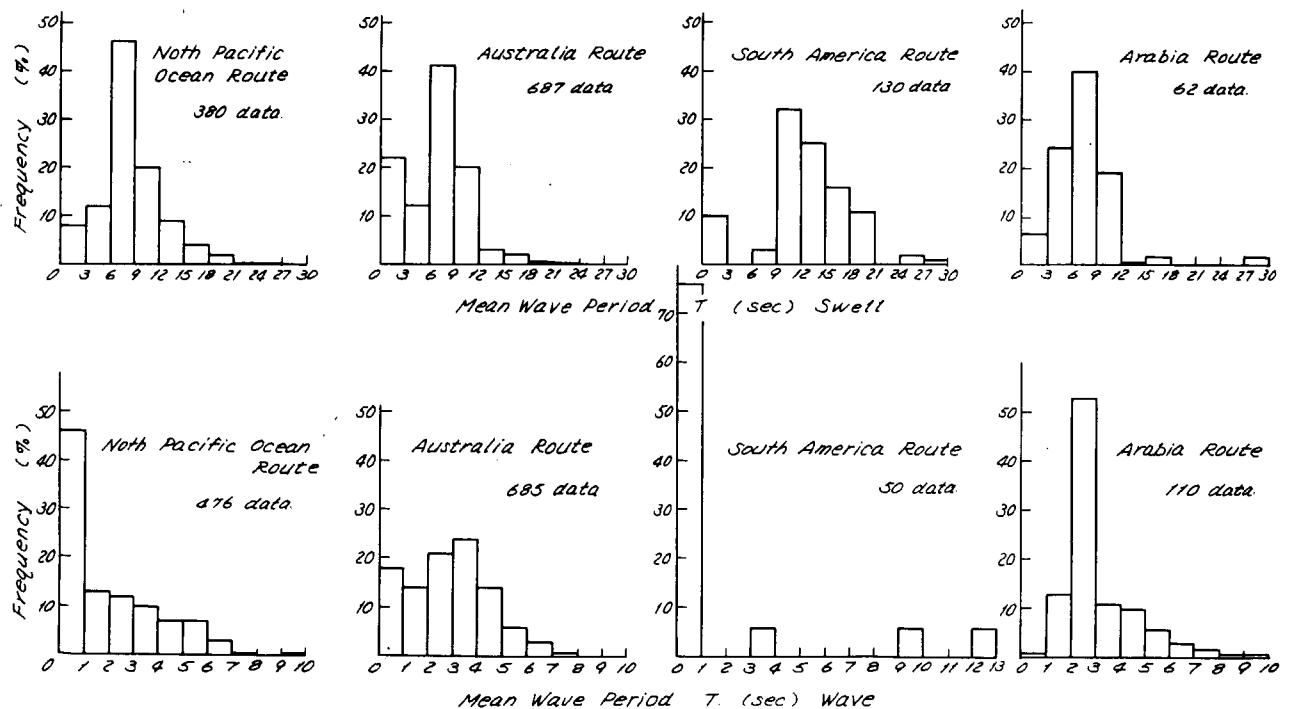


Fig. 4. 2. 6 Histogram of mean period of swell and wave in each route

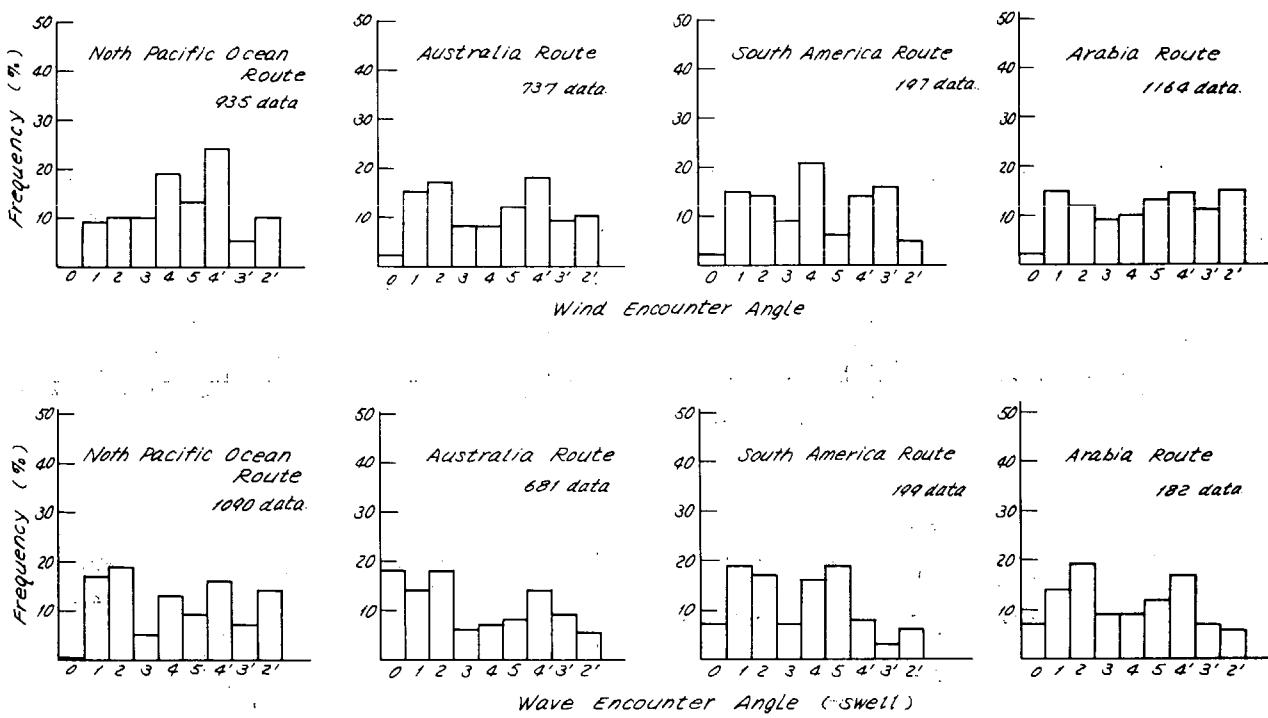
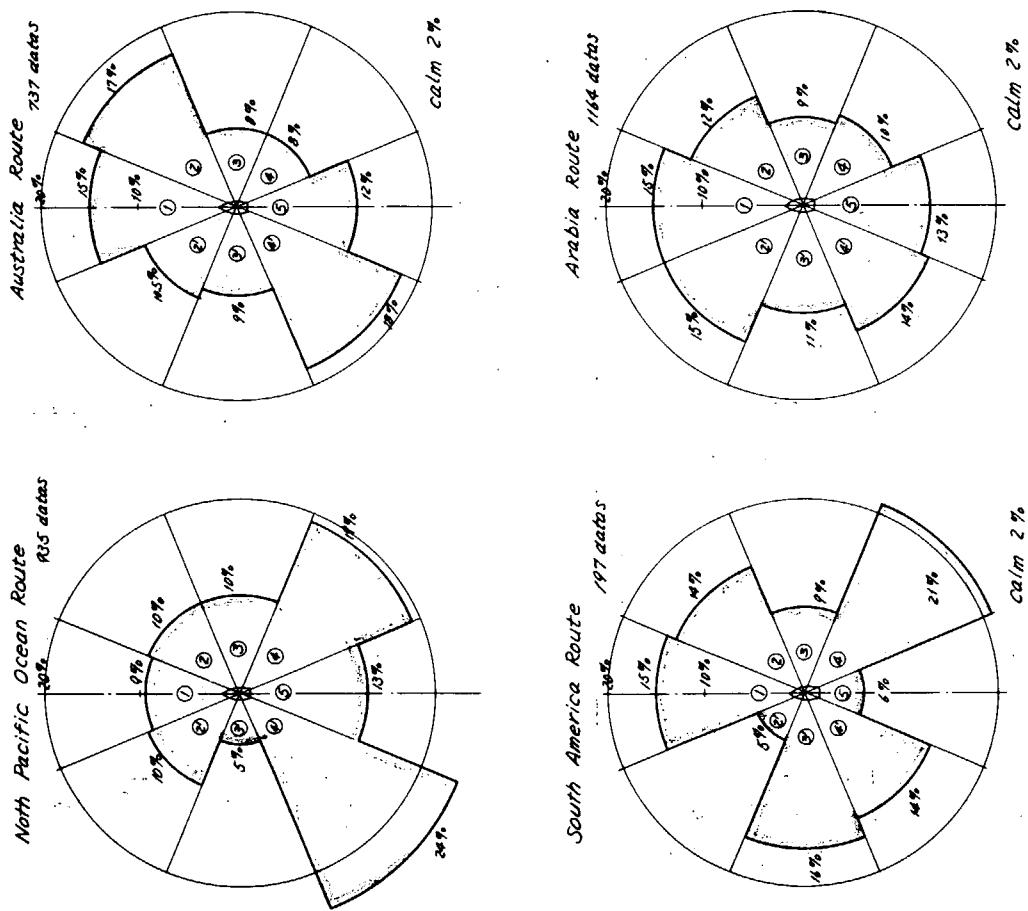


Fig. 4.2.7 Histogram of encounter angle of wind and swell in each route



Frequency distribution of wind encounter angle

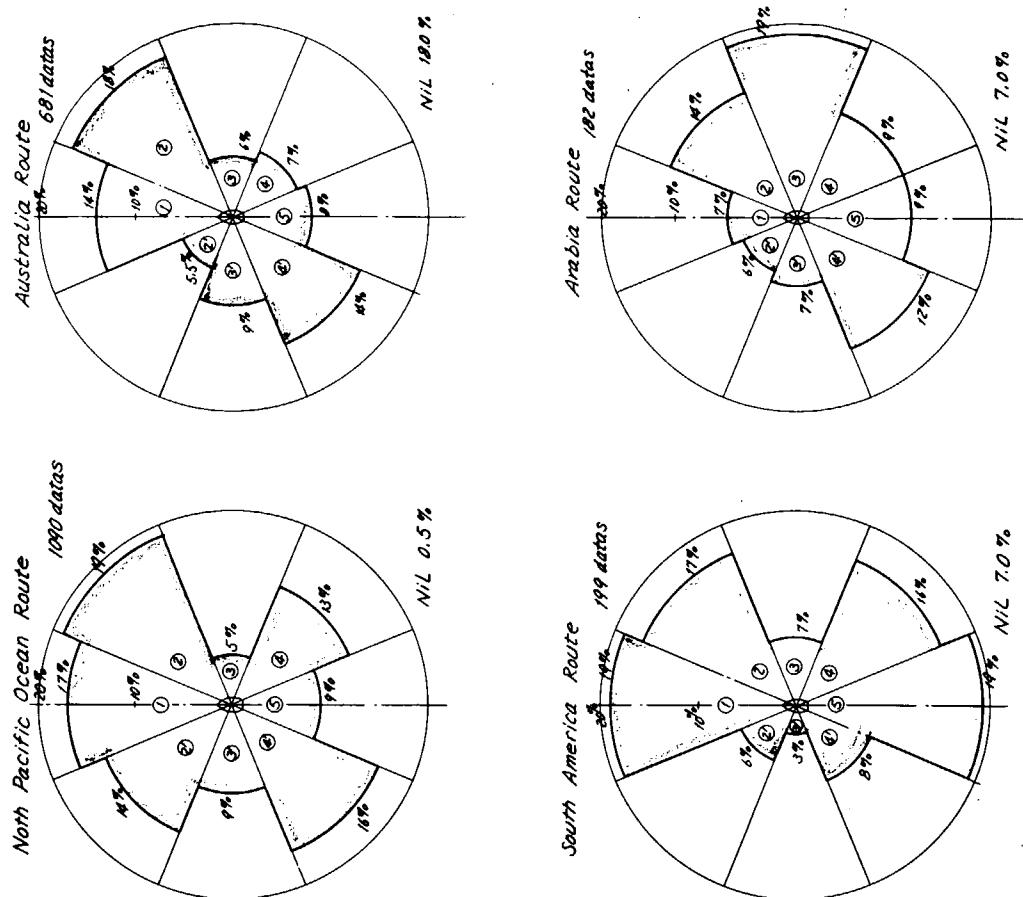


Fig. 4. 2. 9 Frequency distribution of swell encounter angle

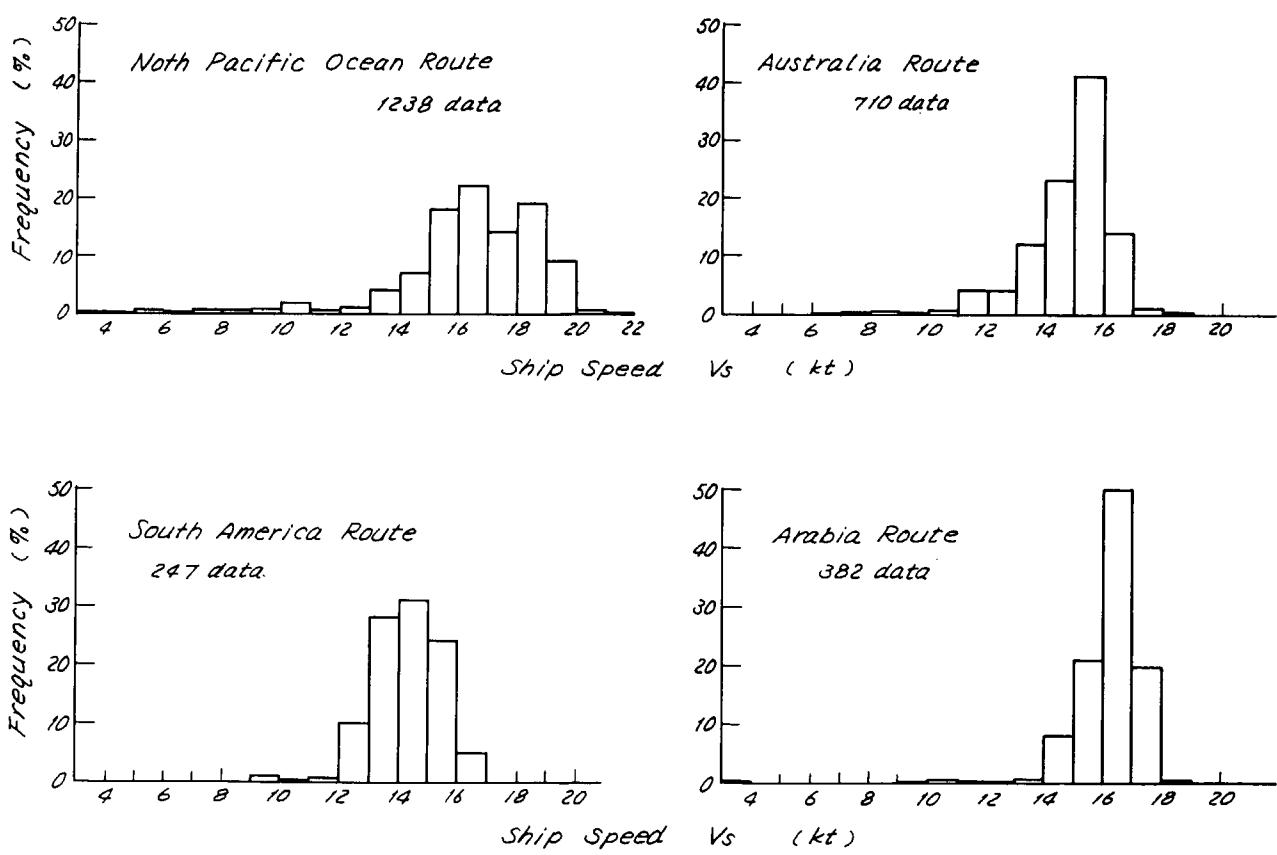


Fig. 4. 2. 10 Histogram of ship speed

Tab. 4. 3.1 Correlation of environmental conditions

		Wave Length (m) (Swell)									
		0~30	~60	~90	~120	~150	~180	~210	~240	~270	~300
Wave Height (m) (Swell)	~16										
	~15										
	~14										
	~13										
	~12							1	2		
	~11										
	~10	1	2	1			5	2			
	~9					2		2			
	~8				6	1	2	2		1	
	~7	8		8	5	6	2		1		
	~6	2	16	10	10	8	1	2	4	2	
	~5	4	11	28	32	6	4	4	1	1	
	~4	12	31	72	65	12	3	10	4	1	1
	~3	10	66	86	81	33	3	2		1	
	~2	43	115	98	98	34	3	17	1	1	
	0~1	161	71	22	45	7		4	1		

		Wave Length (m) (Swell)									
		0~30	~60	~90	~120	~150	~180	~210	~240	~270	~300
Period (sec) (Swell)	~24				2						
	~21		2	1	4	2		1			
	~18		2	5	7	16	1				
	~15		2	10	15	7	2	7		2	
	~12	2	25	41	79	16	7	8	3	3	
	~9	23	123	100	93	42	9	13	7		
	~6	32	40	13	18	1		2			
	~3	106									

		Ship Speed (kt)																					
		~1	~2	~3	~4	~5	~6	~7	~8	~9	~10	~11	~12	~13	~14	~15	~16	~17	~18	~19	~20	~21	~22
Beaufort Wind Scale	11																						
	10	1	1	1																		1	
	9			2	2	2	2																
	8	1	1	1	2	1	3	3	3	5	7	8	11	6	9	5	3						
	7		2	1	1	2	10	13	3	13	8	32	12	17	23	10	1						
	6			1		2	1	6	7	27	25	31	32	34	39	10	1						
	5					1		3	28	30	35	35	33	58	28								
	4						2	4	22	53	97	82	31	50	32	2							
	3						2	1	14	60	124	76	41	48	21	3							
	2							1	1	21	71	43	23	26	7	1							
	1									1	7	31	12	7	9	2							
	0										4	12	5	3	9	2							

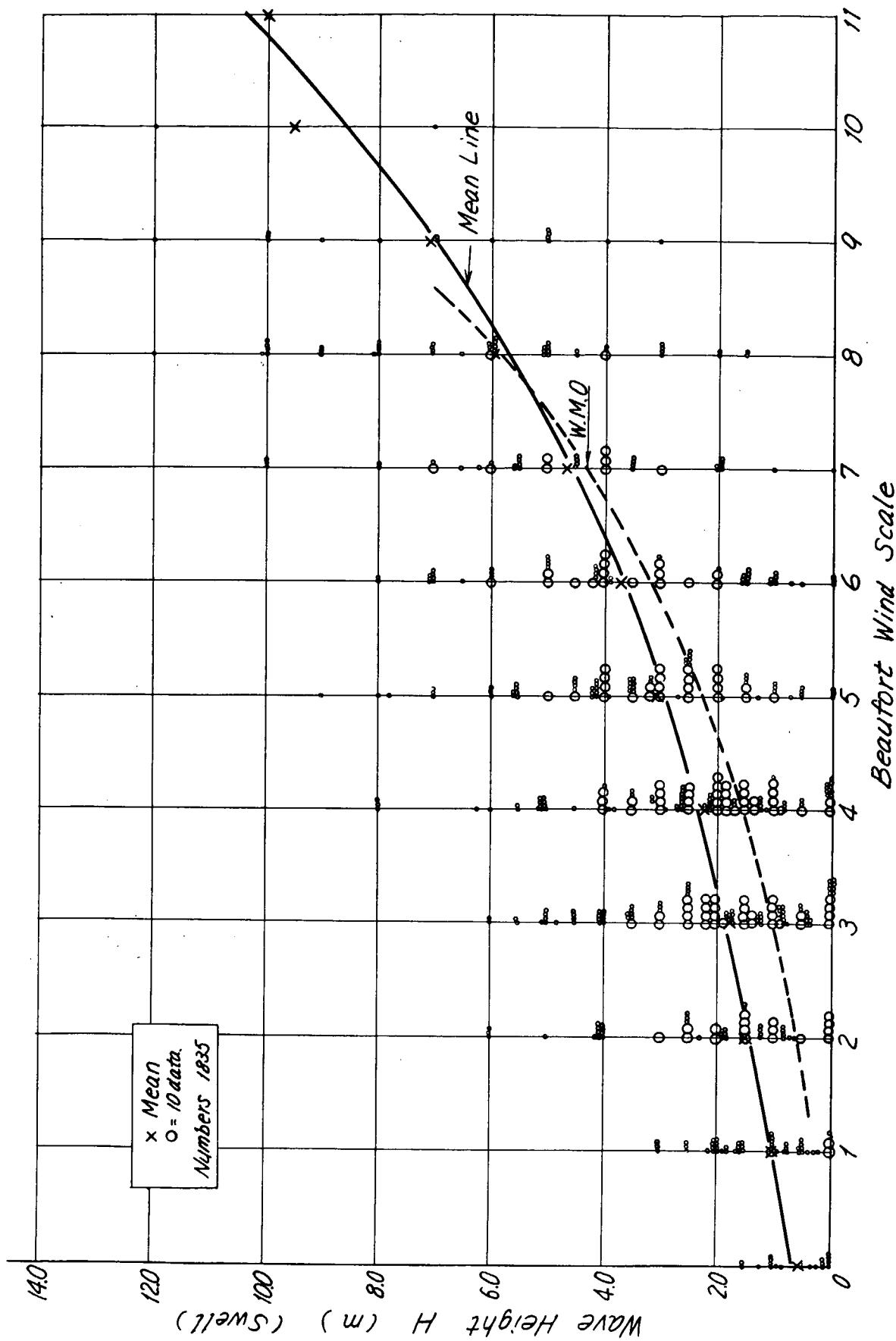


Fig. 4.3.1 Wave height vs. Beaufort scale

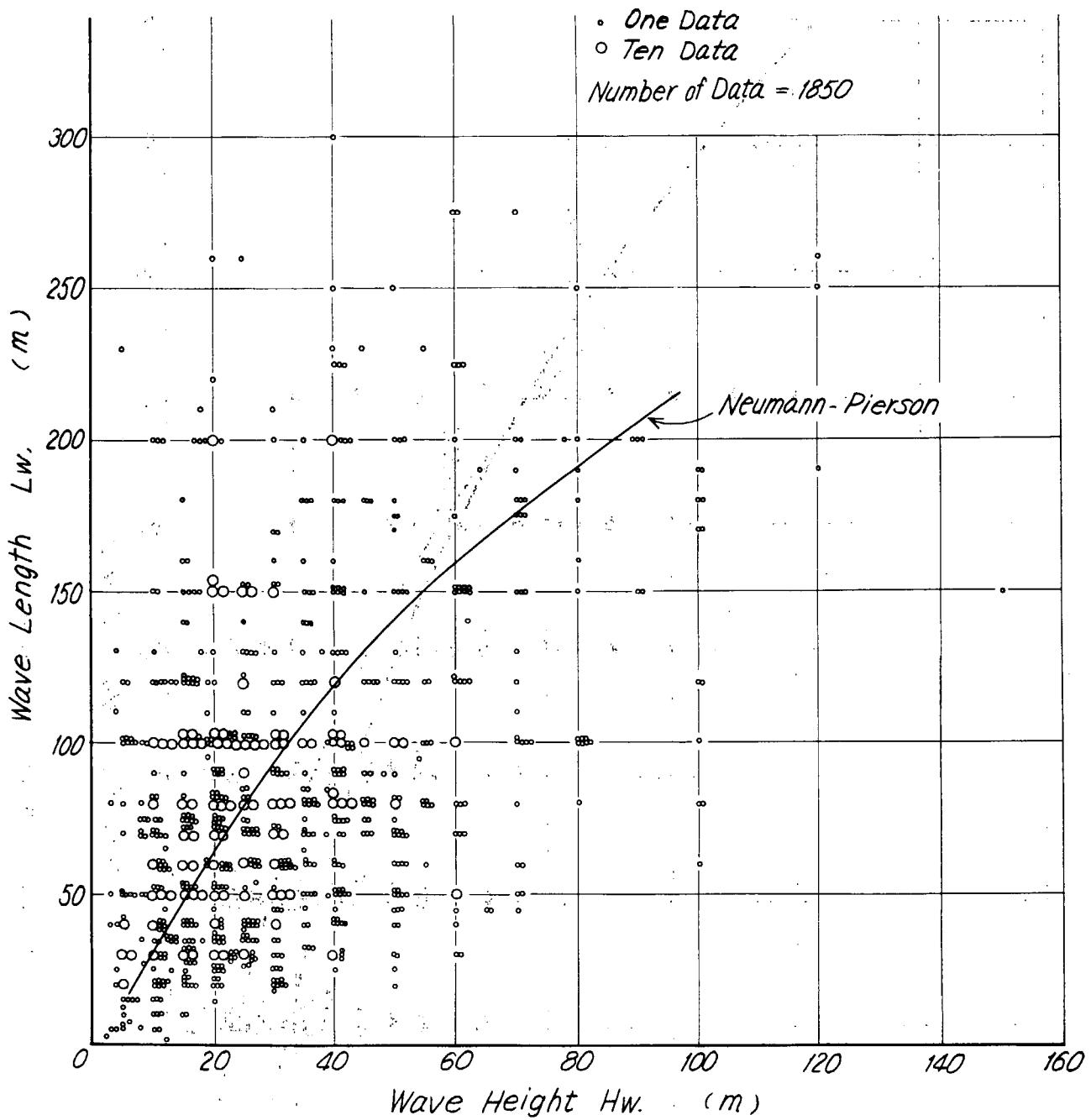


Fig. 4.3.2 Wave length vs. wave height

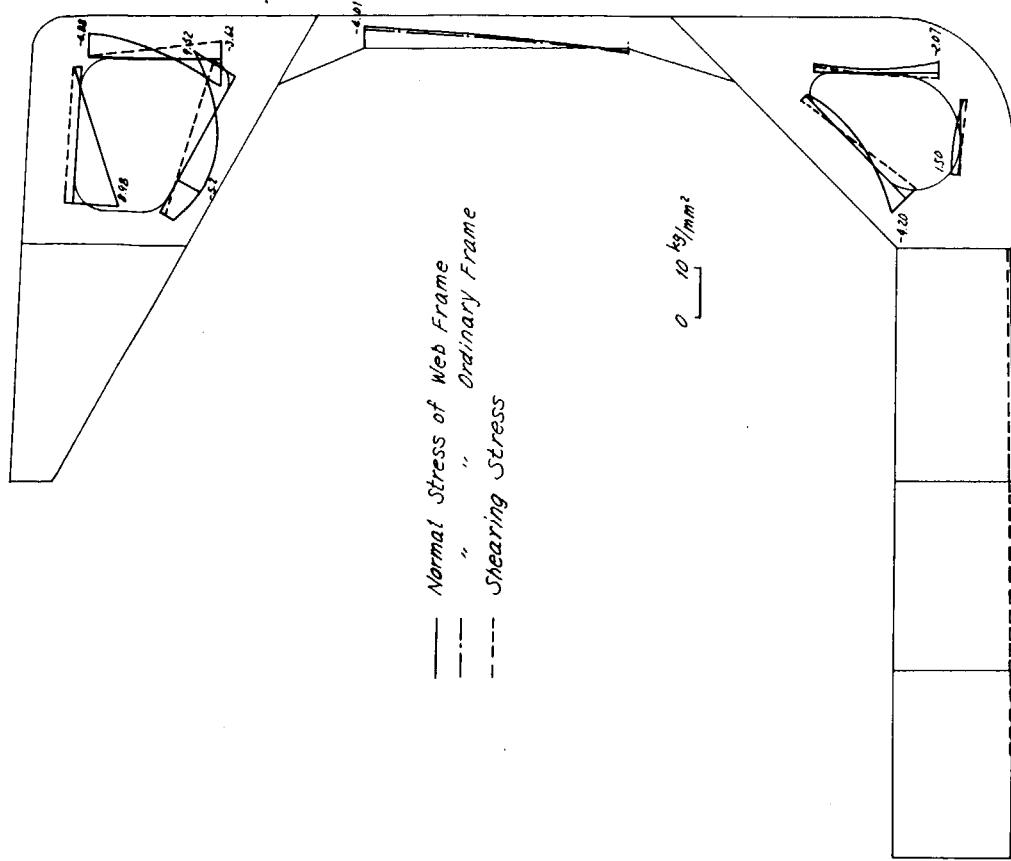


Fig. 5.1.2 Stresses on ballast condition  
(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Port Headland)

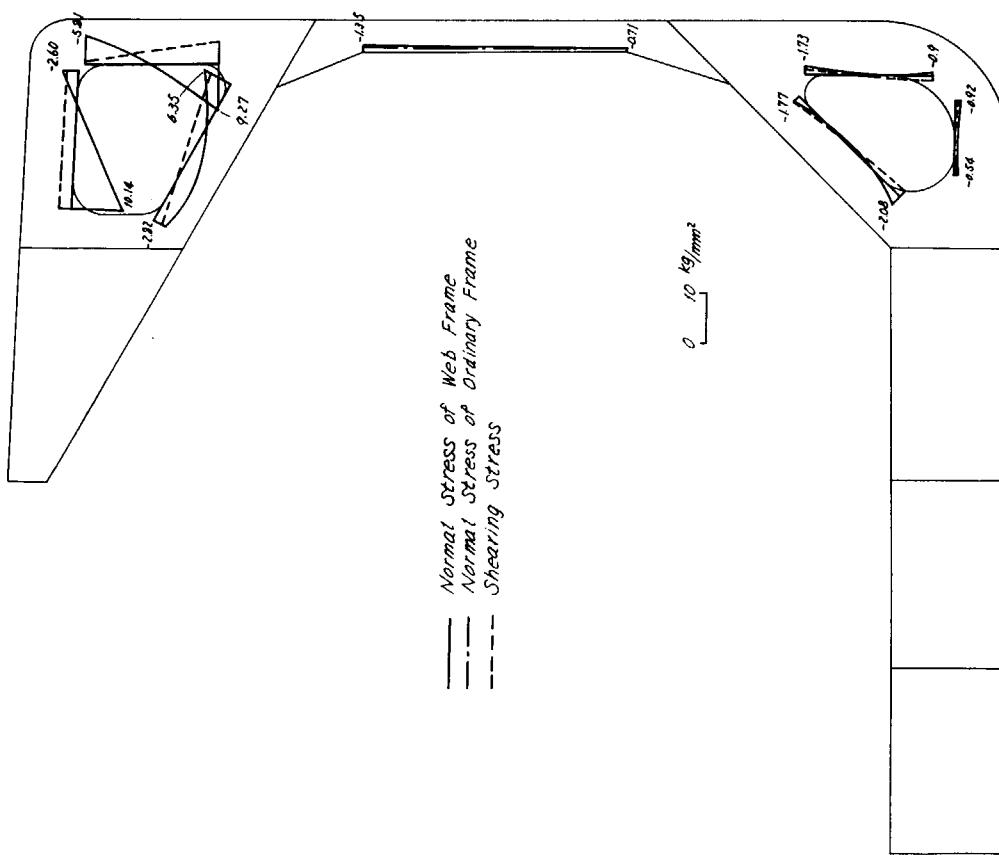


Fig. 5.1.1 Stresses on ballast condition  
(SHOBU MARU, 1st voyage, at St. Nicolas)

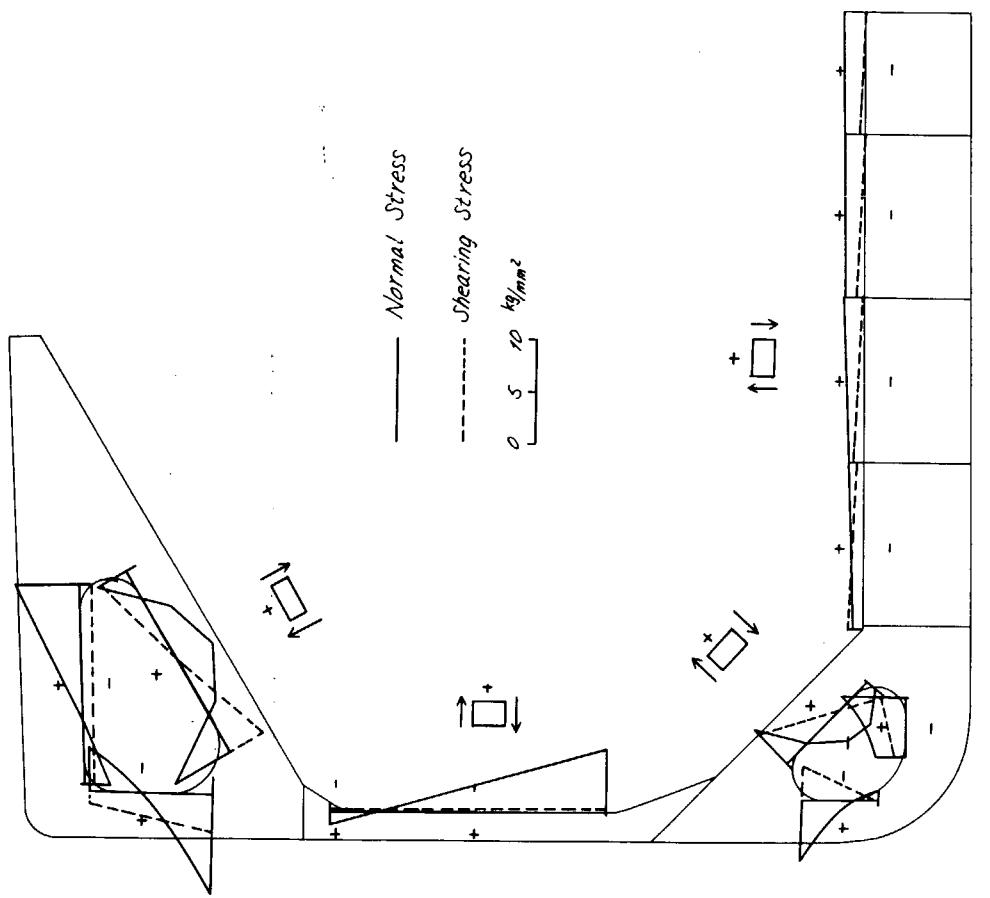


Fig. 5. 1. 4 Stresses on ballast condition  
(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)

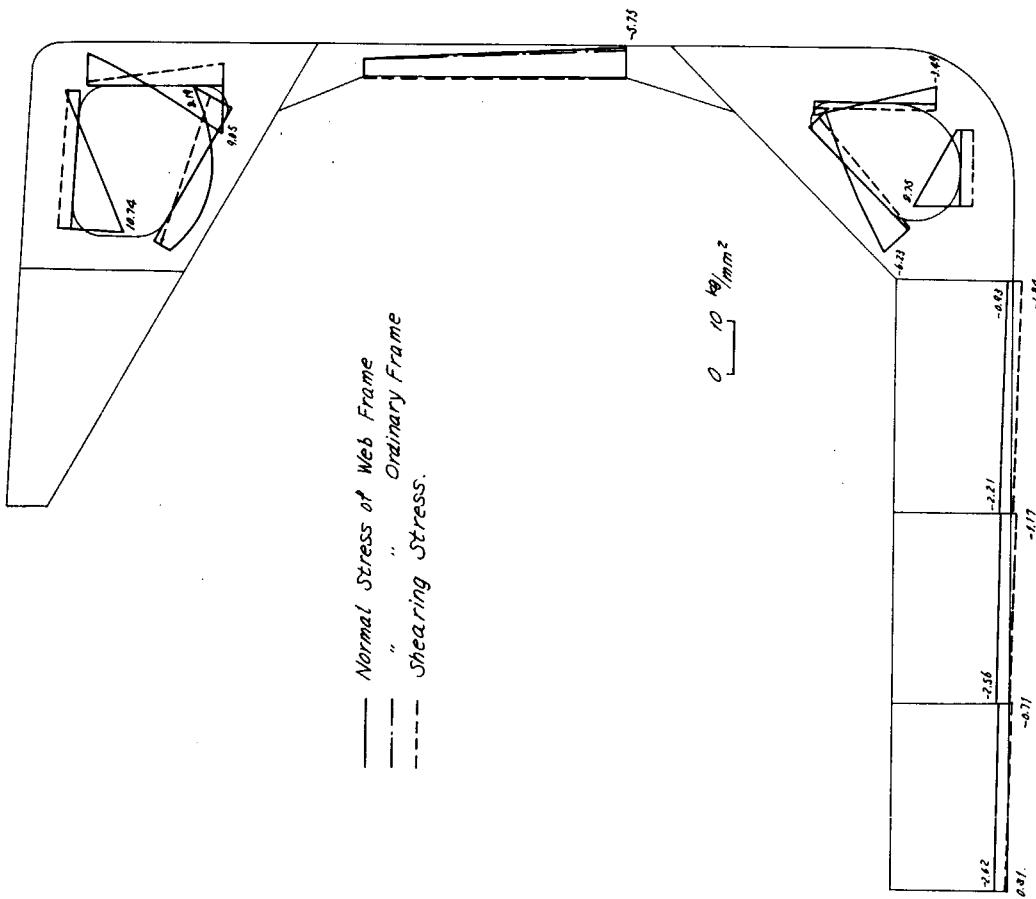


Fig. 5. 1. 3 Stresses on ballast condition  
(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Fukuyama)

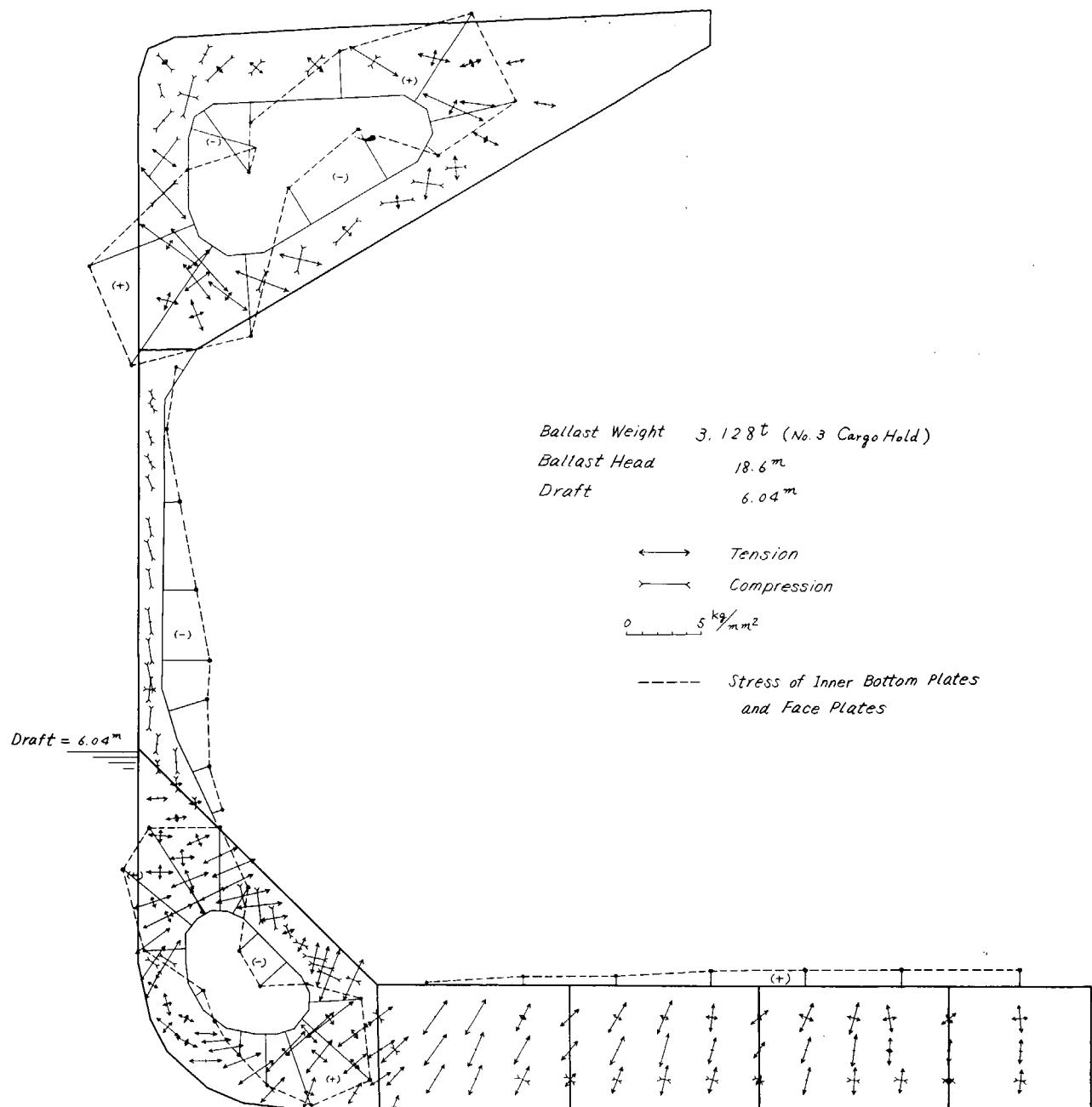


Fig. 5.1.5 Stress distribution on ballast condition calculated by F.E.M.  
(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)

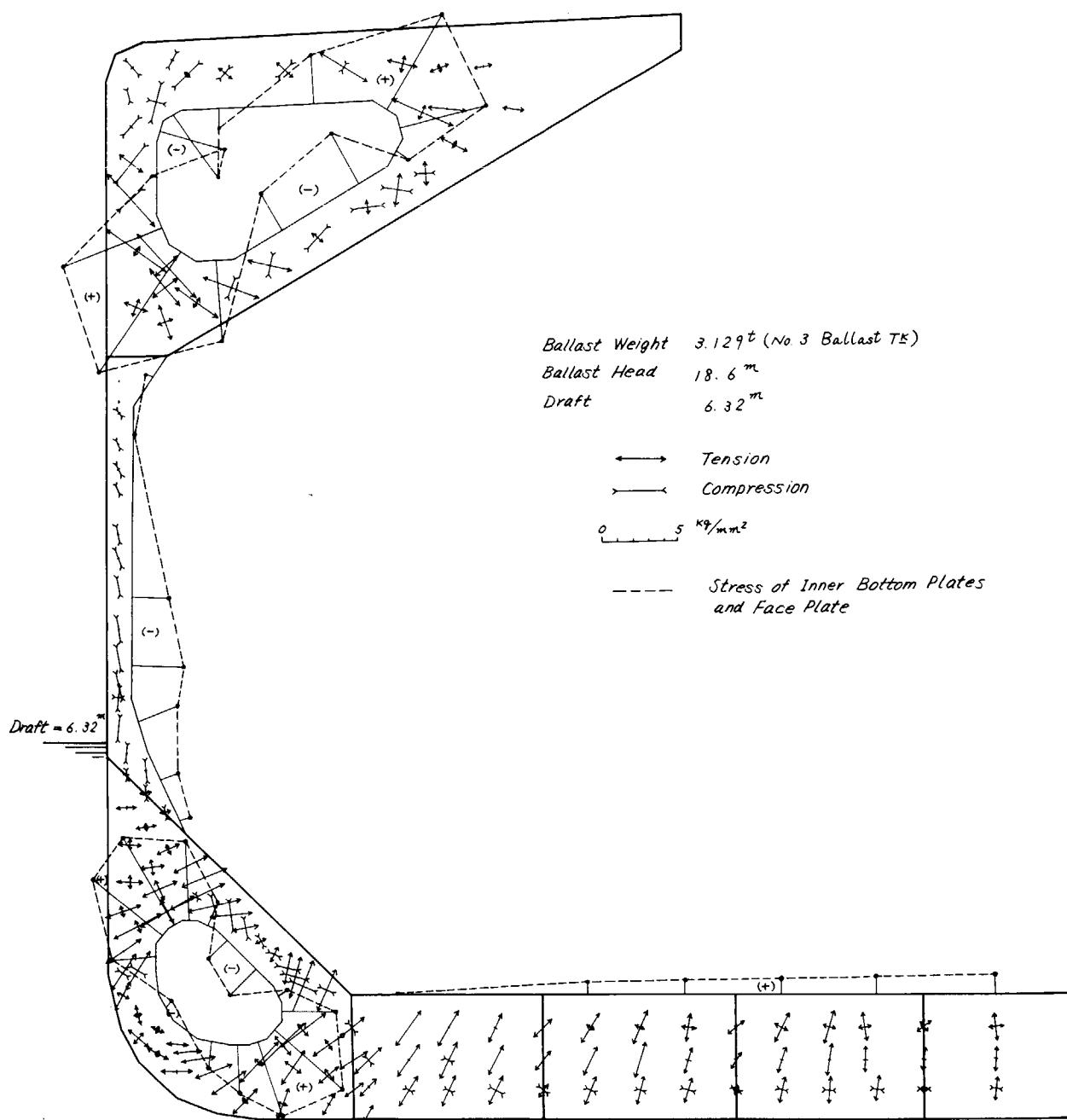


Fig. 5.1.6 Stress distribution on ballast condition calculated by F.E.M.  
(KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)

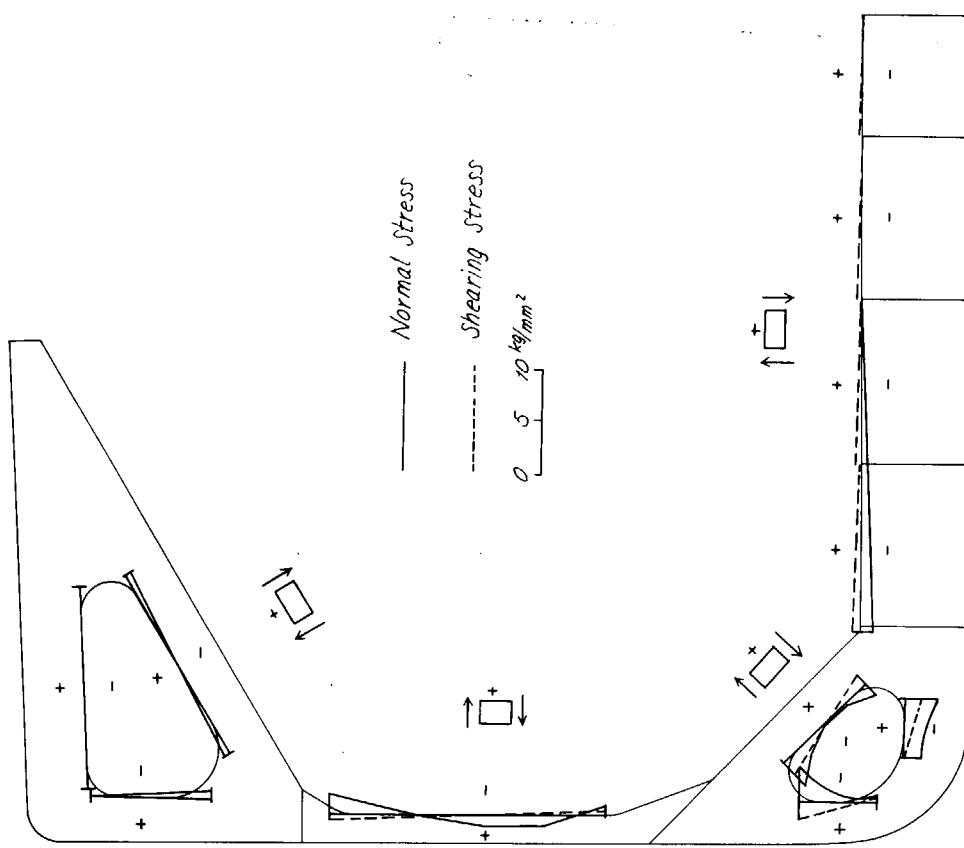


Fig. 5.1.8      Stresses on uniform loaded condition  
(KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)

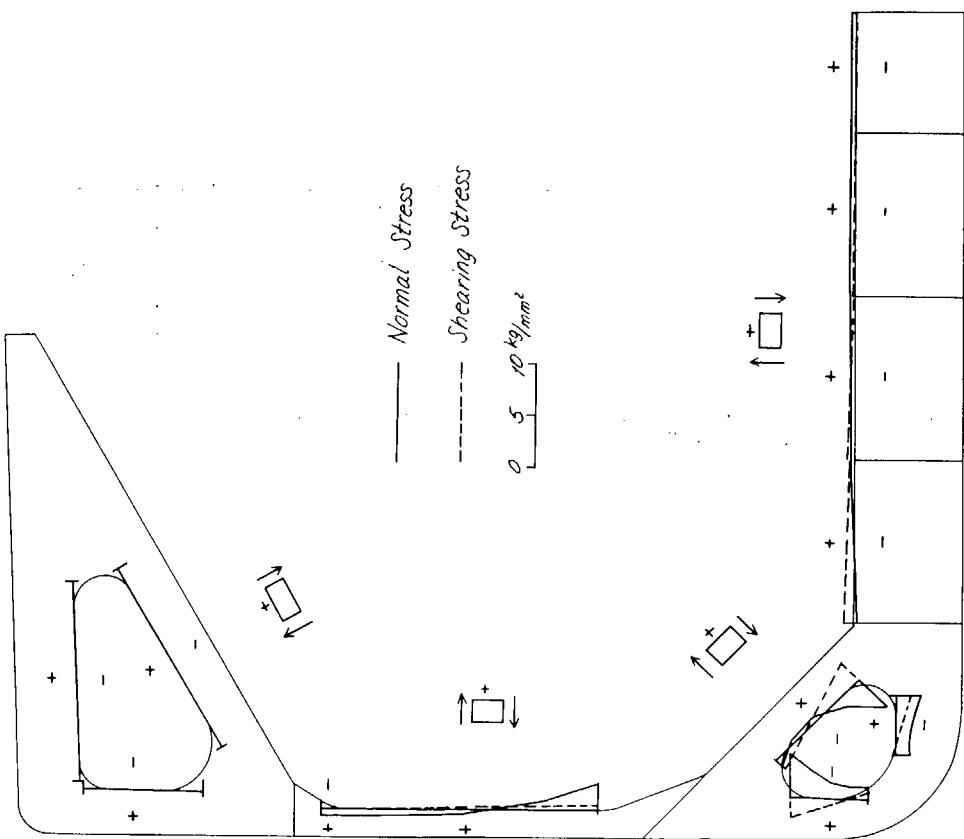


Fig. 5.1.7      Stresses on uniform loaded condition  
(KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)

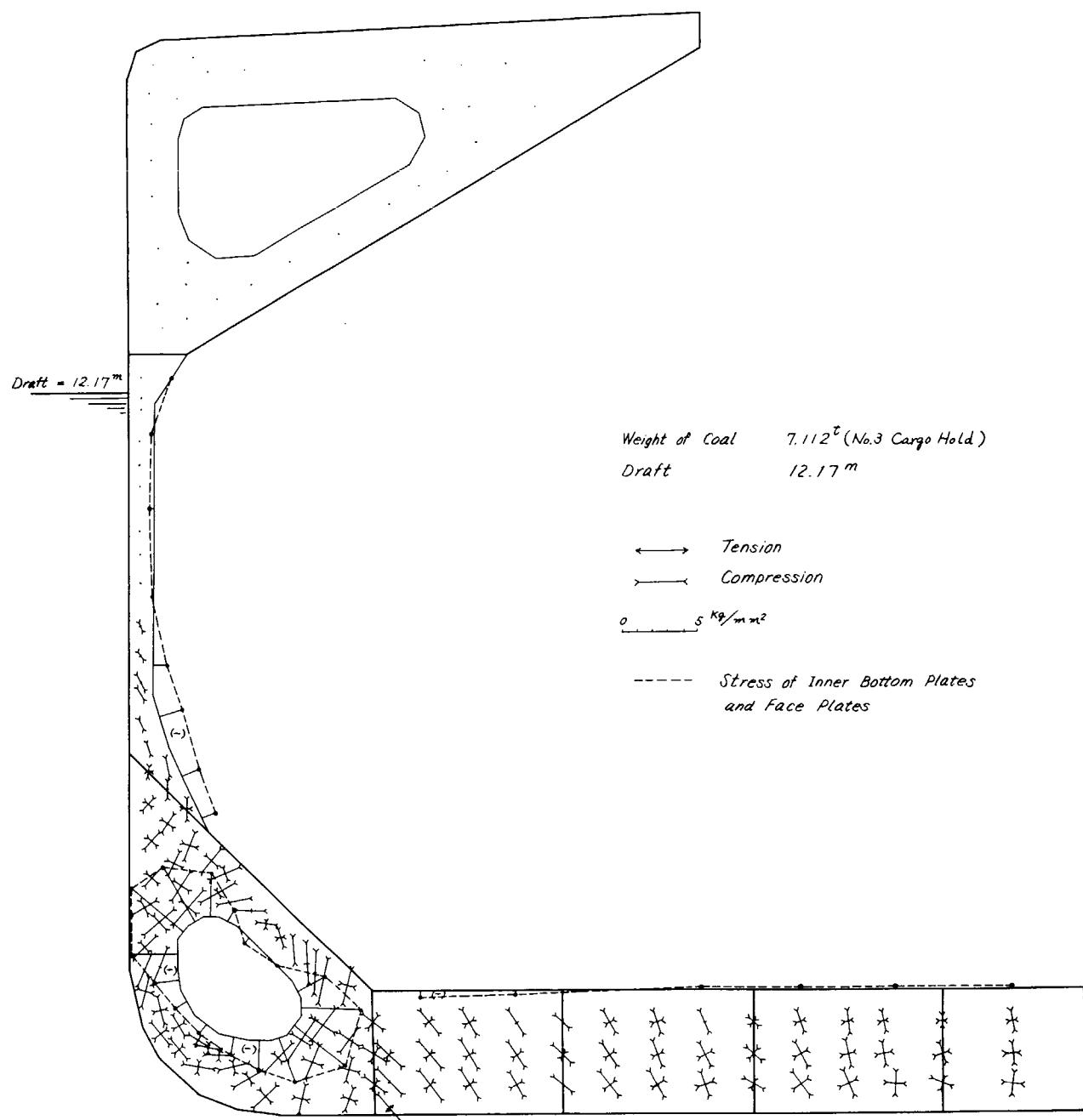


Fig. 5.1.9 Stress distribution on uniform loaded condition calculated by F. E. M. (KIMI MARU, 1st voyage, at Robert Bank)

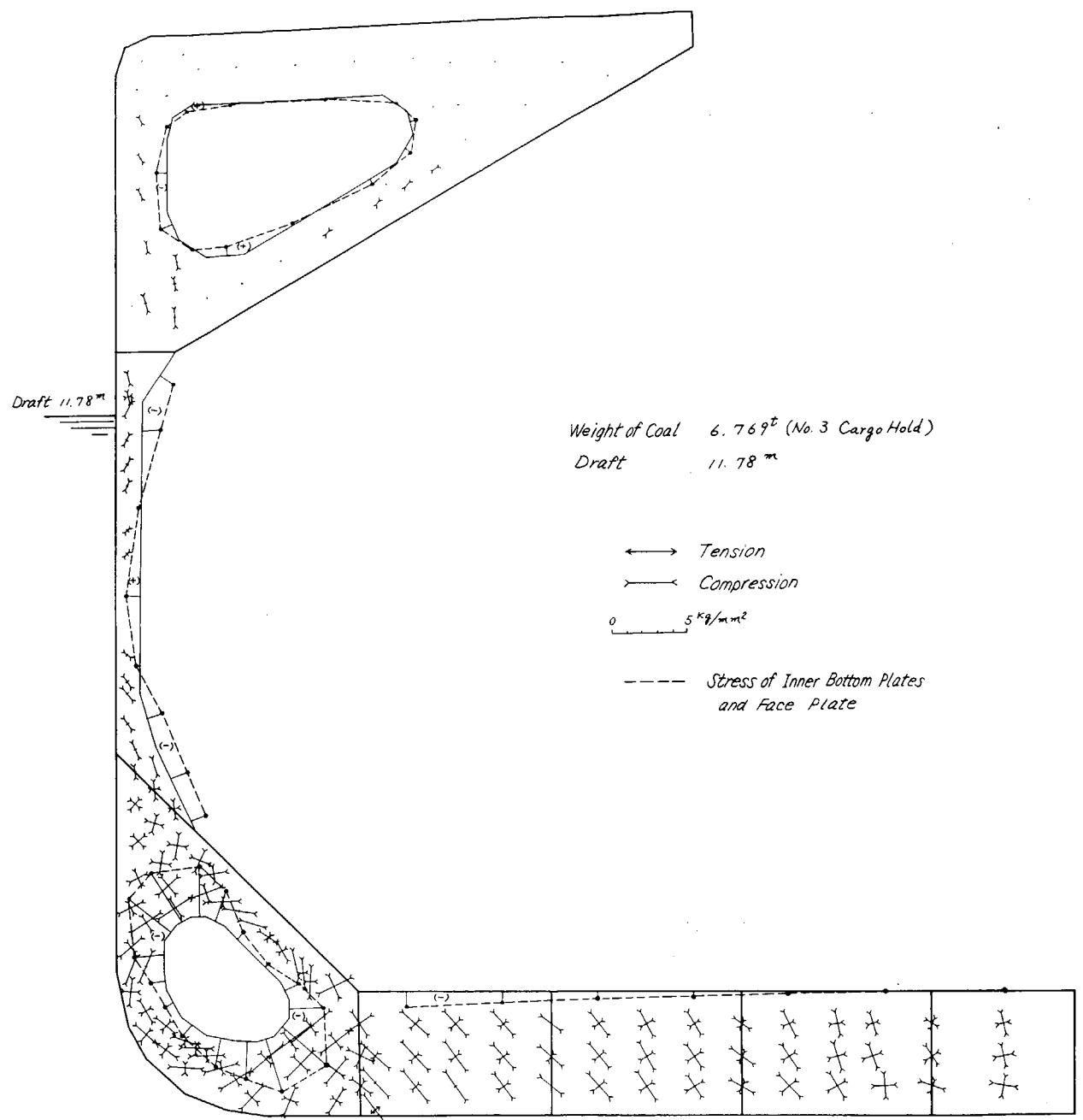
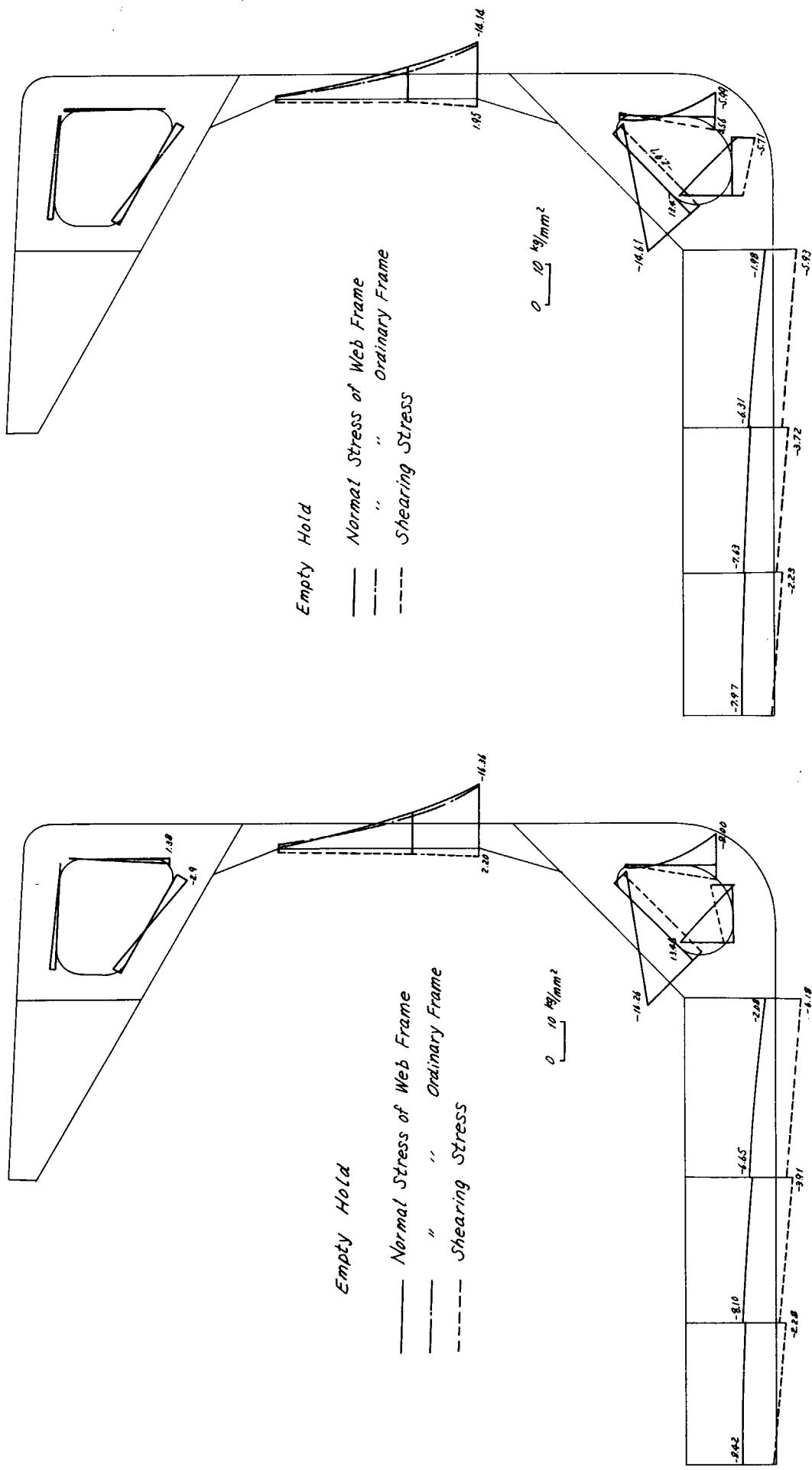


Fig. 5.1.10 Stress distribution on uniform loaded condition calculated by F. E. M. (KIMI MARU, 2nd voyage, at Norfolk)



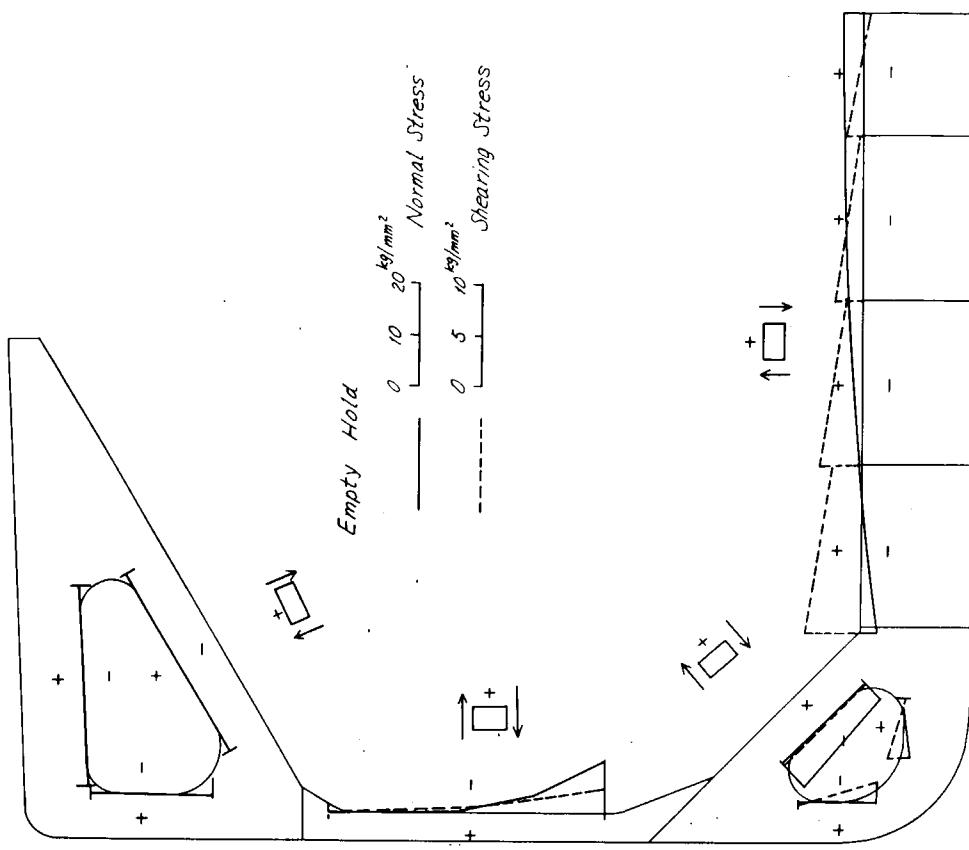


Fig. 5. 1. 14

Stresses in empty hold on alternate loading condition  
(KIMI MARU, Designing condition)

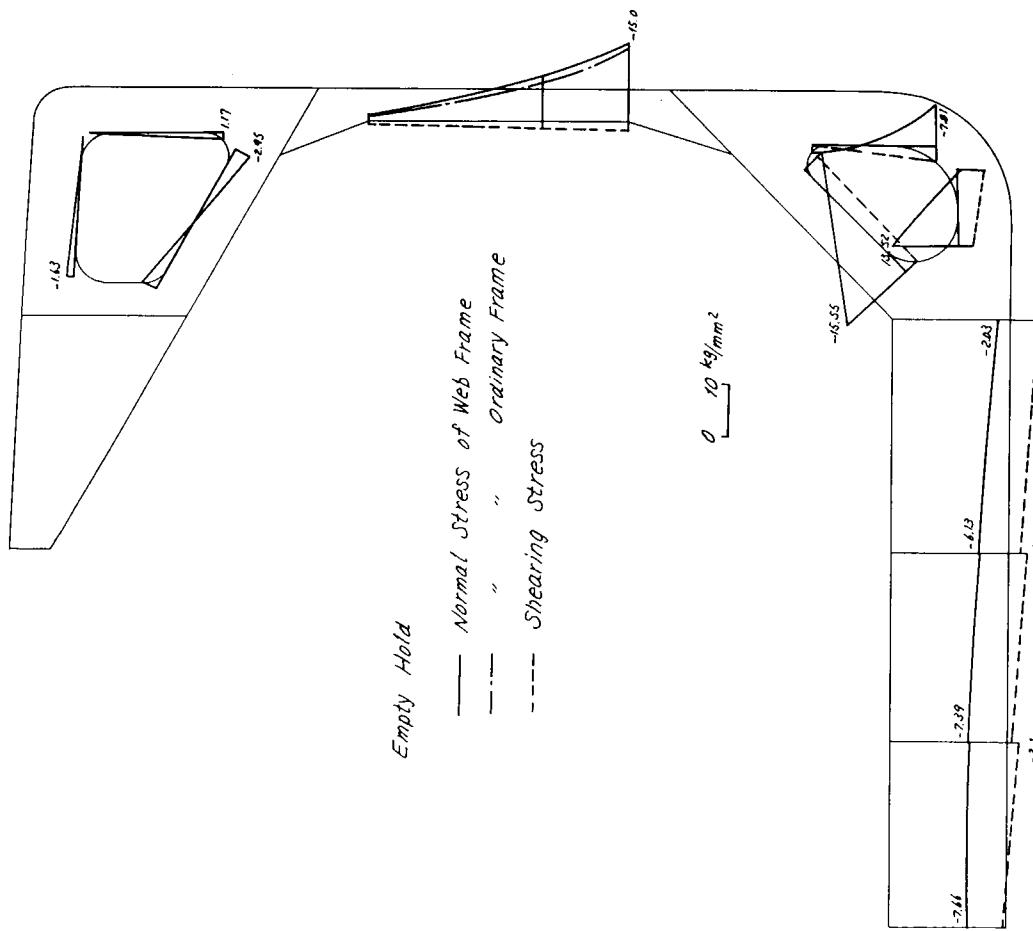


Fig. 5. 1. 13

Stresses in empty hold on alternate loading condition  
(SHOBU MARU, 2nd voyage, at Fukuyama)

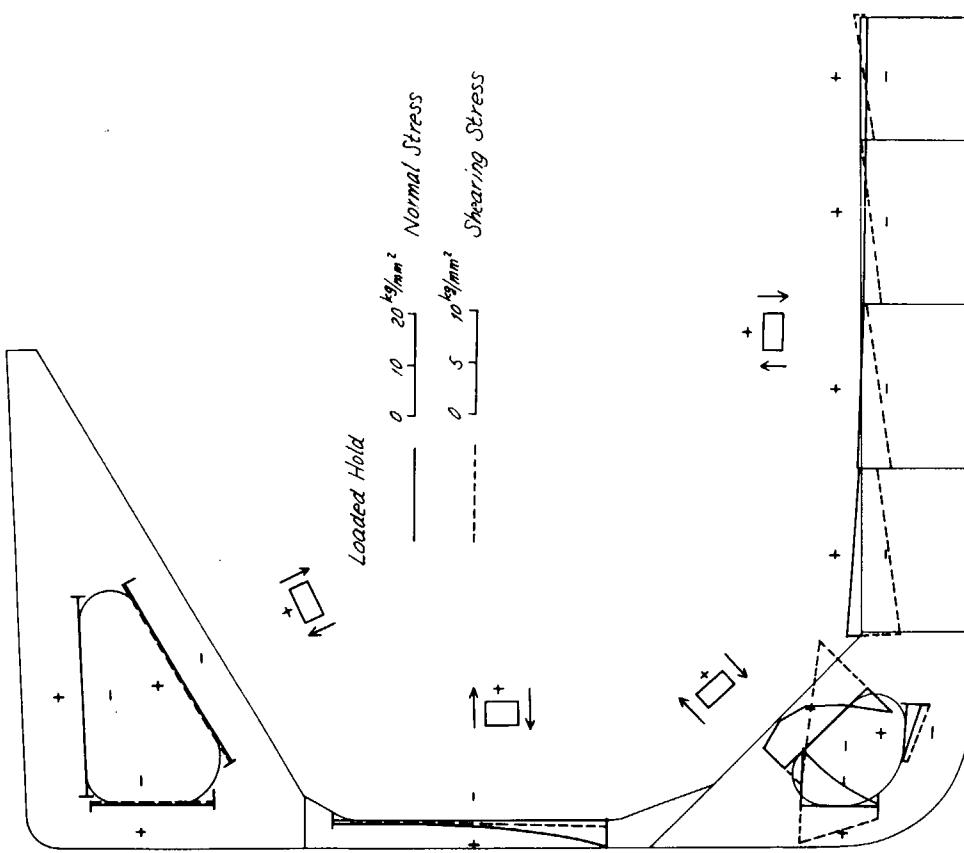


Fig. 5.1.15      Stresses in loaded hold on alternate loading condition  
(KIMI MARU, Designing condition)

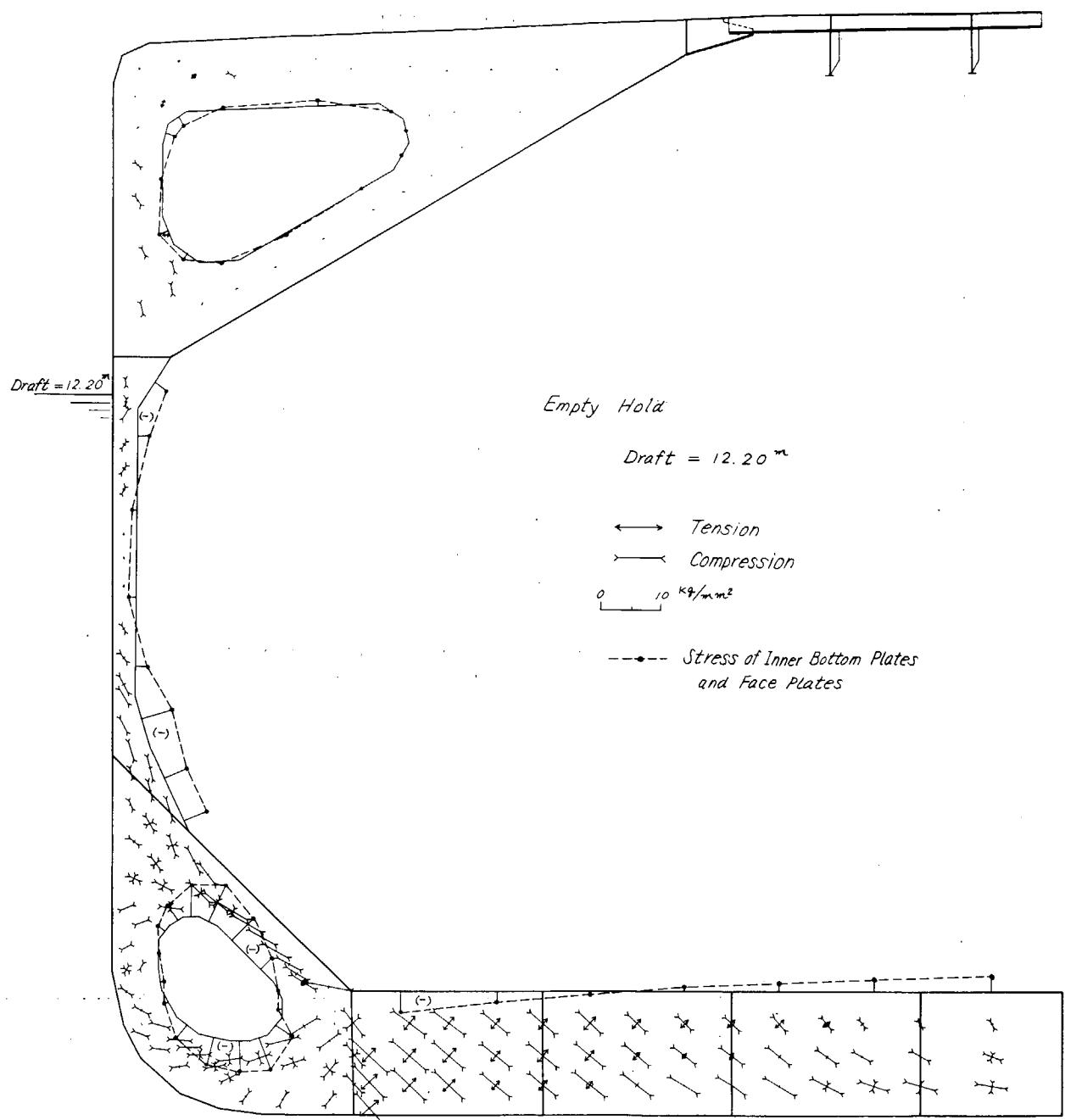


Fig. 5.1.16 Stress distribution in loaded hold on alternate loading condition calculated by F. E. M. (KIMI MARU, Designing condition)

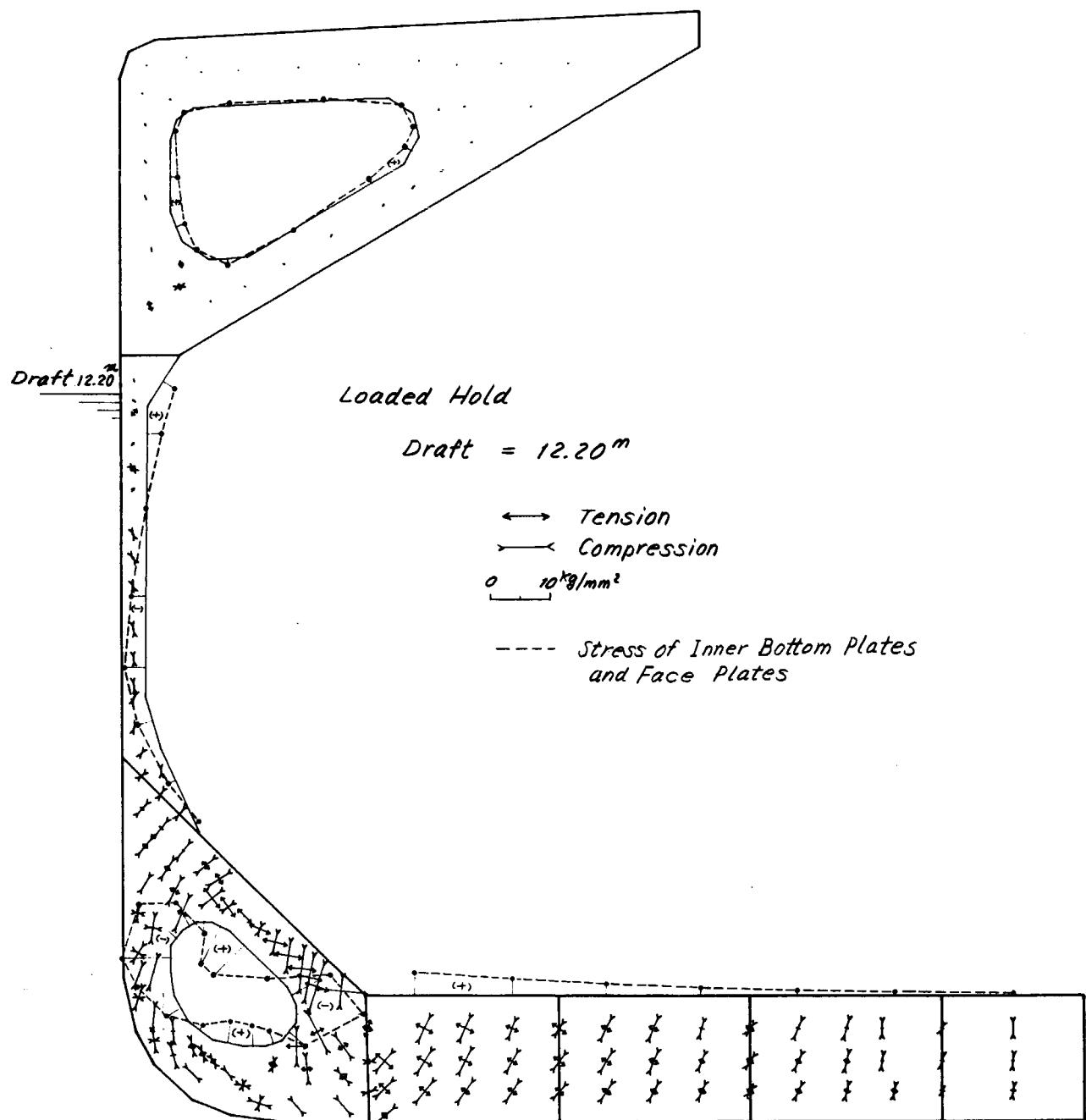


Fig. 5.1.17 Stress distribution in empty hold on alternate loading  
 condition calculated by F. E. M.  
 (KIMI MARU, Designing condition)

Loading from 10:30 July 3rd to 0:45 July 6th, 1970

Sea Water Density = 1.02

Date	3								4								5								
Time	10	14	16	18	20	22	24	8	10	12	14	16	18	20	22	24	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Measuring No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
F.P.T. W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 1 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 2 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 3 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 4 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 5 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 6 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 7 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 9 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
H	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]	[L]
# 13 W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
A.P.T. W	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]	[H]
Draft	d <sub>f</sub>	5.32	4.10	4.00	4.42	4.60	6.12	6.70	7.10	8.55	8.70	9.10	10.05	12.18											
	(l)	6.39	6.17	6.05	6.79	6.81	7.46	8.07	9.07	9.54	9.86	10.34	11.18	12.20											
	d <sub>m</sub>	7.17	8.15	7.80	8.45	9.20	8.80	9.50	10.35	10.95	11.25	11.65	11.85	12.18											
	d <sub>a</sub>																								

■ Loading      ----- Deballasting by Main Pump.      L Deballasting by Strip Pump.

Fig. 5. 2. 1      Loading at Robert Bank (KIMI MARU, 1st voyage)

	Newport News				Anchoring				Norfolk																
Date	8/22	8/23	8/24	8/24	8/24								8/25								8/26				
Time	22	24	2	4	8	10	12	14	16	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6		
F.P.T. W																									
H																									
# 1 W																									
H																									
# 2 W																									
H																									
# 3 W																									
H																									
# 4 W																									
H																									
# 5 W																									
H																									
# 6 W																									
H																									
# 7 W																									
H																									
# 9 W																									
H																									
# 13 W																									
A.P.T. W																									
Draft	d <sub>f</sub>	6.25	6.82	7.22						7.00	6.92	7.18	6.80	8.75	9.78										
	(l)	6.35	6.53	7.15						6.91	7.78	7.04	8.75	9.50	10.61										
	d <sub>m</sub>	6.60	6.82	7.21						7.05	8.42	7.50	10.55	10.15	11.21										
	d <sub>a</sub>	0	L 0.6	R 0.2						R 0.5	R 0.7	0	L 0.2	0	L 0.3	0									
List																									

Loading Side : Port at Newport News, Staboard at Norfolk      ■ Loading, ----- Deballasting

Fig. 5. 2. 2      Loading at Norfolk (KIMI MARU, 2nd voyage)

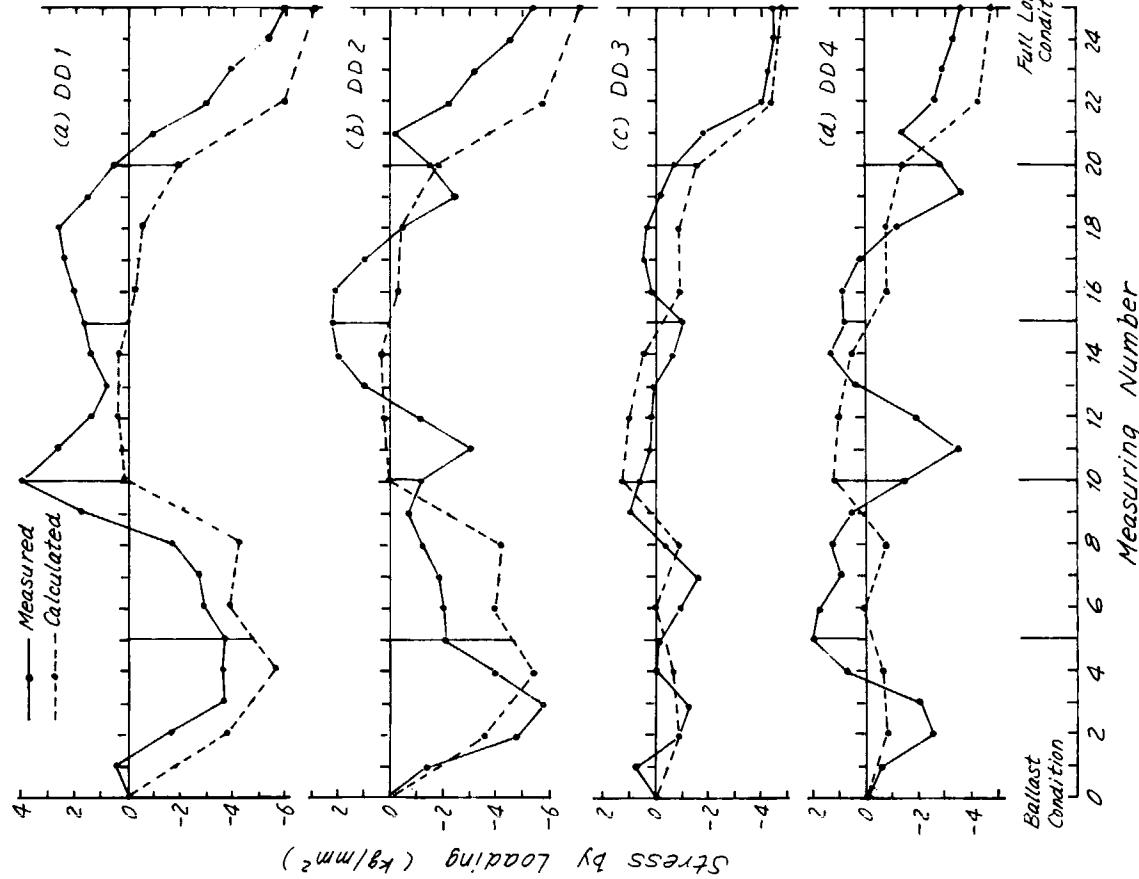


Fig. 5.2.3 Stress by loading (KIMI MARU, 1st voyage, Robert Bank)

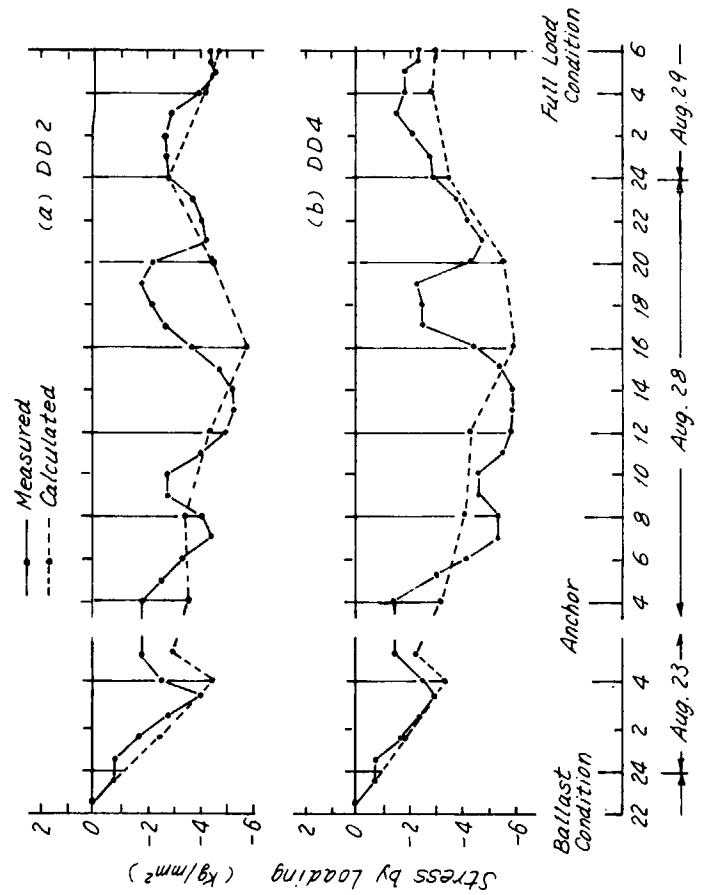


Fig. 5.2.4 Stress by loading (KIMI MARU, 2nd voyage, Norfolk)

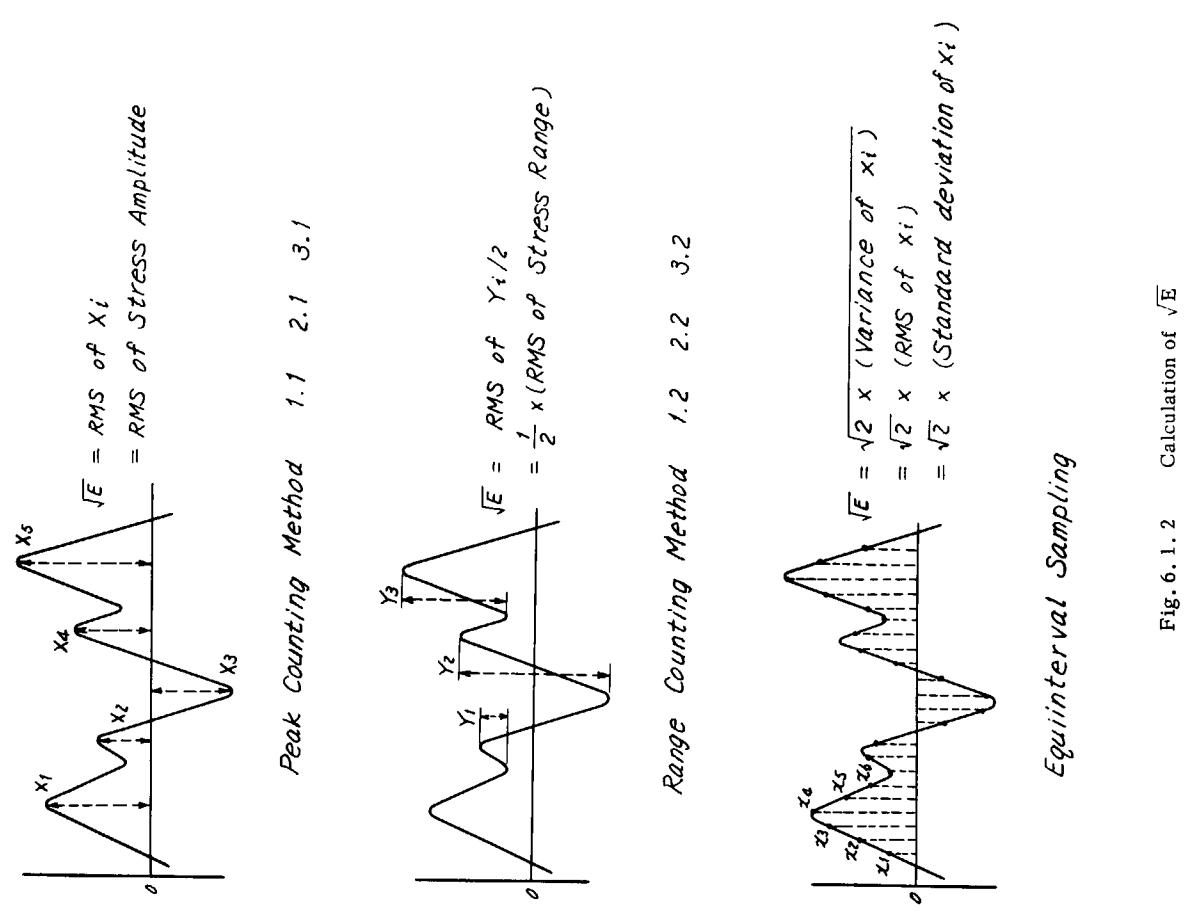


Fig. 6.1.2 Calculation of  $\sqrt{E}$

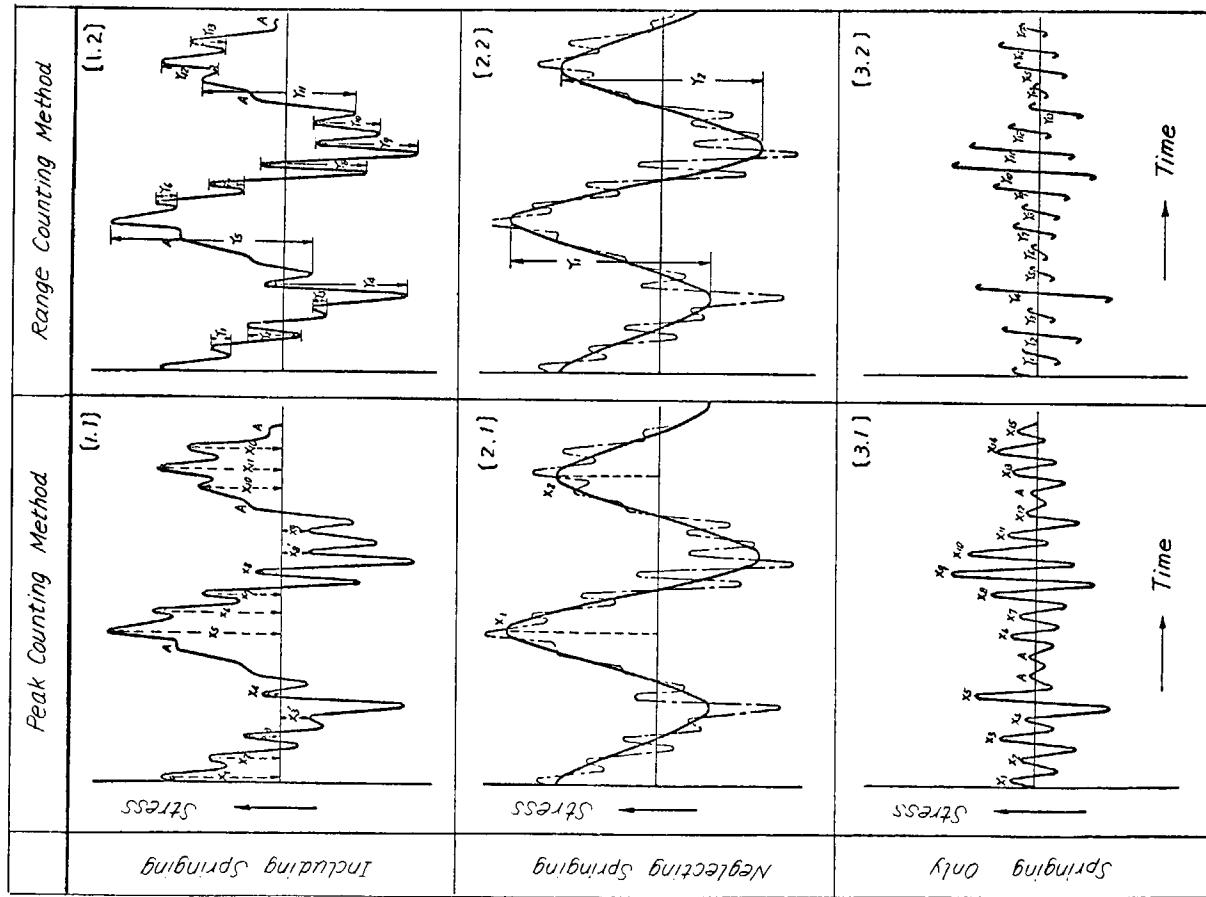


Fig. 6.1.1 Counting method of stress frequency

Tab. 6.2.1  $\sqrt{E}$  and maximum value of longitudinal wave bending stress amidship (SHOBU MARU)

Test No.	Sea State	Wave Height (m)	$\sqrt{E}$ kg/mm <sup>2</sup>						Maximum Stress Amplitude kg/mm <sup>2</sup>					
			Data by DATAC and Analyzed by Computer						Data by DATAC and Analyzed by Computer					
			Stress Including Springing			Stress Excluding Springing			Stress Including Springing			Stress Excluding Springing		
			[11]	[12]	[21]	[22]	[31]	[32]	[11]	[12]	[21]	[22]	[31]	[32]
			Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Computer Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count
3	?	2.5	.89	.44	1.13	1.06	.27	.27	3.25	2.97	2.50	.63	.61	
6	3	1.5	.58	.42	.64	.63	.09	.09	1.67	1.88	1.73	1.55	.38	.50
7	4	2.5	.64	.27	.66	.66	.15	.15	1.64	1.51	1.34	1.30	.32	.31
8	3	1.5	.56	.45	.66	.65	.08	.08	1.28	1.30	1.19	1.26	.14	.15
10	8	3.5	1.21	.67	1.23	1.22	.16	.15	1.90	3.38	3.24	3.13	1.02	.28
11	5	5.5	2.03	.85	2.26	2.26	.89	.60	1.70	6.56	6.52	5.31	1.90	1.91
12	5	5	.85	.54	.98	.97	.15	.14	1.80	2.35	2.21	2.23	1.08	.58
13	3	1.5	.68	.36	.79	.77	.11	.11	1.01	1.78	1.61	1.55	.30	.25
14	2	1.5	.69	.33	.81	.74	.14	.14	1.01	2.11	1.33	1.87	.37	.36
18	2	2.5	.56	.30	.61	.66	.16	.16	1.92	1.73	1.70	1.60	.40	.40
19	1	1.5	.55	.55	.55	.54	.07	.07	1.87	1.83	1.39	1.31	.11	.09
22	4	0	.49	.25	.55	.43	.23	.22	—	1.20	1.70	1.10	.90	.90
24	4	2.5	.43	.26	.42	.33	.23	.23	1.25	1.71	1.22	1.20	1.00	1.00
25	3	2.5	.43	.18	.52	.40	.14	.12	2.66	1.19	1.86	1.09	.87	.71
26	3	1.5	.20	.28	.47	.39	.08	.08	1.50	1.33	1.26	1.26	.94	1.01
30	3	1.5	.57	.54	.55	.53	.07	.07	0	1.22	1.28	1.16	1.22	.49
31	4	2.5	.54	.52	.57	.56	.07	.07	.71	1.22	1.32	1.17	1.26	.25
33	3	1.5	.60	.57	.53	.53	.21	.21	1.87	2.47	1.32	1.25	.10	.10
37	6	3.5	1.24	.56	.88	.84	.15	.15	1.18	2.66	1.19	1.93	1.97	.37
41	2	2.5	1.09	1.03	1.10	1.07	.08	.07	1.61	2.36	2.34	2.27	2.23	.12
43	7	2.5	1.66	.43	.75	.74	.19	.19	1.32	1.92	1.90	1.63	.59	.52
44	7	4.5	.86	.75	.96	.92	.10	.10	1.52	2.58	2.53	2.51	.35	.26
45	4	2.5	.35	.24	.39	.38	.10	.10	0	1.10	1.02	1.02	.20	.19
46	4	2.5	.41	.30	.44	.43	.16	.16	.36	1.39	.99	1.24	.91	.36
49	4	2.5	.62	.50	.75	.72	.14	.14	1.36	2.10	1.95	1.97	1.80	.37
50	4	3.5	.72	.57	.84	.81	.17	.17	1.82	2.61	2.59	2.39	2.23	.52
51	6	4.5	.40	.30	.43	.42	.16	.16	.17	1.02	1.19	1.13	1.04	.39
64	4	3	.39	.27	.55	.43	.16	.16	.39	.90	1.00	1.60	.90	.30
66	4	2	.35	.31	.37	.35	.06	.06	.23	.80	.73	.75	.68	.11
67	0	1	.37	.37	.35	.36	.06	.06	0	.75	.69	.71	.67	.07
69	3	0	.31	.20	.30	.25	.16	.16	.17	0	.90	.62	.55	.37
71	6	2.5	.26	.23	.31	.31	.09	.09	1.63	.78	.84	.88	1.20	.17
72	7	1.52	.74	.125	1.15	.54	.53	.199	2.34	2.26	2.94	2.55	1.78	1.72
74	11	10	1.41	.65	1.46	1.42	.42	.42	2.16	4.17	2.51	3.71	2.22	.98
75	7	4	1.27	.87	1.60	1.53	.19	.19	1.53	3.91	3.53	3.88	3.45	.40
80	4	0	.22	.22	.19	.19	.09	.09	.60	.46	.51	.24	.38	.39
83	3	2	.60	.51	.68	.64	.13	.13	1.38	1.93	1.71	1.76	1.52	.37

Tab. 6. 2. 2 (1)  $\sqrt{E}$  and maximum value of longitudinal wave bending  
stress amidship (KMI MARU) -1

Test No.	Sea State	Bouy- fort Height (m)	$\sqrt{E}$ $\text{kg/mm}^2$						Maximum Stress Amplitude $\text{kg/mm}^2$						
			Data by DATAC and Analyzed by Computer			Data by DATAC and Analyzed by Computer			Data by DATAC and Analyzed by Computer			Data by DATAC and Analyzed by Computer			
			Stress Including Springing	Stress Excluding Springing	Springing Only	Stress Including Springing	Stress Excluding Springing	Springing Only	Stress Including Springing	Stress Excluding Springing	Springing Only	Stress Including Springing	Stress Excluding Springing	Springing Only	Stress Including Springing
1	0	0.26	[ 11 ] Peak Count	[ 12 ] Range Count	[ 21 ] Peak Count	[ 22 ] Range Count	[ 31 ] Peak Count	[ 32 ] Range Count	Computer	[ 11 ] Peak Count	[ 12 ] Range Count	[ 21 ] Peak Count	[ 22 ] Range Count	[ 31 ] Peak Count	[ 32 ] Range Count
2	4	1.5	0.17	0.15	0.21	0.20	0.17	0.17	0.26	0.17	0.17	0.58	0.47	0.49	0.42
3	3	1.5	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.08	0.21	0.03	0.03	0.42	0.29	0.30	0.21
4	4	2.0	0.19	0.17	0.17	0.16	0.08	0.07	0.45	0.49	0.39	0.40	0.33	0.14	0.13
5	4	3.0	0.21	0.19	0.20	0.19	0.08	0.08	0.46	0.67	0.69	0.51	0.38	0.19	0.18
6	3	1.5	0.20	0.16	0.19	0.19	0.08	0.08	0.48	0.46	0.45	0.37	0.36	0.15	0.15
7	5	2.5	0.37	0.29	0.24	0.17	0.28	0.28	0.16	0.16	0.90	0.55	0.32	0.76	0.94
8	4	3.9	0.27	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.81	0.67	0.70	0.53	0.51	0.44	0.42
9	4	3.9	0.41	0.33	0.31	0.31	0.33	0.32	0.48	0.95	0.79	0.73	1.06	1.09	0.48
10	4	3.9	0.41	0.35	0.32	0.32	0.17	0.15	0.48	0.65	0.90	0.70	0.69	0.44	0.37
11	4	4.0	0.58	0.56	0.53	0.18	0.16	0.16	0.31	0.77	1.54	1.49	1.40	0.52	0.41
12	4	5.0	0.65	0.52	0.63	0.60	0.14	0.13	0.29	1.04	1.83	1.79	1.70	0.30	0.30
13	2	4.0	1.50	0.36	0.51	0.47	0.11	0.10	0.70	1.47	1.40	1.37	1.24	0.27	0.22
14	5	4.0	1.38	0.39	0.33	0.32	0.27	0.27	0.48	1.04	0.76	0.61	0.67	0.73	0.69
15	4	8.0	1.06	0.73	1.02	0.99	0.46	0.83	1.69	5.24	4.01	3.04	2.74	2.20	1.53
16	4	3.5	0.50	0.44	0.43	0.41	0.19	0.16	0.63	1.73	1.66	1.24	1.04	0.57	0.47
17	3	2.0	0.29	0.24	0.24	0.22	0.12	0.12	0.38	0.70	0.62	0.59	0.50	0.32	0.26
18	6	4.0	1.82	0.66	1.74	1.71	0.28	0.28	0.98	2.14	2.08	1.64	1.64	0.78	0.64
19	7	10.0	1.25	0.80	1.21	1.19	0.54	0.51	1.50	5.13	3.48	2.99	2.56	2.29	1.77
20	4	4.0	0.34	0.26	0.29	0.28	0.17	0.16	0.45	0.89	0.82	0.69	0.53	0.41	0.37
21	4	2.0	0.29	0.26	0.24	0.22	0.10	0.10	0.36	0.77	0.77	0.64	0.64	0.21	0.20
22	4	2.5	0.34	0.27	0.34	0.34	0.11	0.11	0.50	1.00	0.92	0.84	0.79	0.25	0.21
23	4	1.5	0.35	0.27	0.32	0.31	0.14	0.13	0.47	0.94	0.90	0.77	1.70	0.31	0.28
24	3	1.0	0.25	0.19	0.26	0.24	0.10	0.10	0.39	0.72	0.52	0.67	0.56	0.21	0.18
25	6	3.0	0.29	0.23	0.24	0.21	0.18	0.17	0.40	0.79	0.64	0.65	0.62	0.26	0.25
26	1	1.0	0.21	0.19	0.17	0.15	0.09	0.08	0.07	0.69	0.44	0.40	0.31	0.22	0.18
27	3	3.0	0.20	0.16	0.19	0.21	0.09	0.09	0	0.66	1.06	0.40	1.03	0.23	0.18
28	2	3.0	0.36	0.28	0.37	0.34	0.10	0.09	0.61	0.88	0.91	0.73	0.77	0.40	0.25

Tab. 6.2.2 (2)  $\sqrt{E}$  and maximum value of longitudinal wave bending  
stress amidship (KIMI MARU) -2

Test No.	Sea State	$\sqrt{E}$ $\text{kg/mm}^2$	Maximum Stress Amplitude $\text{kg/mm}^2$											
			Data by DATAC and Analyzed by Computer											
			Stress Including Springing						Stress Excluding Springing					
Wave Height (m)	Peak Count	[11]	[12]	[21]	[22]	[31]	[32]	RMS	[11]	[12]	[21]	[22]	[31]	[32]
Staft	Range	Peak Count	Range	Peak Count	Range	Peak Count	Range	Computer Peak Count	Range	Peak Count	Range	Peak Count	Springing Only	Data RMS
29	4	2.0	0.61	0.28	0.70	0.29	0.07	0.50	5.88	0.61	5.88	0.59	0.12	0.12
30	4	1.5	0.33	0.28	0.33	0.30	0.08	0.39	1.13	0.67	1.13	0.59	0.16	0.14
31	3	1.9	0.25	0.23	0.24	0.24	0.08	0.25	0.77	0.60	0.60	0.50	0.14	0.14
32	3	1.0	0.23	0.21	0.23	0.21	0.06	0.07	0.16	0.47	0.44	0.41	0.39	0.11
33	4	1.8	0.31	0.25	0.22	0.22	0.23	0.22	0.49	0.87	0.59	0.49	0.40	0.10
34	4	1.9	0.35	0.26	0.30	0.25	0.25	0.62	0.92	0.65	0.67	0.56	0.43	0.54
35	2	1.8	0.26	0.20	0.25	0.19	0.05	0.06	0.64	1.37	0.64	1.37	0.39	0.06
36	3	1.5	0.27	0.25	0.22	0.20	0.09	0.10	0.50	0.61	0.49	0.46	0.36	0.17
37	3	1.8	0.27	0.24	0.24	0.23	0.10	0.10	0.46	0.70	0.61	0.52	0.46	0.26
38	5	3.0	0.43	0.39	0.43	0.40	0.10	0.10	0.26	0.85	1.66	0.84	0.92	0.21
39	5	3.0	0.36	0.28	0.38	0.39	0.10	0.10	0.85	0.96	0.95	0.84	0.58	0.43
40	3	2.0	0.26	0.25	0.23	0.22	0.09	0.08	0.46	0.60	0.62	0.50	0.56	0.25
41	4	3.0	0.31	0.24	0.28	0.27	0.18	0.17	0.22	0.70	0.64	0.53	0.42	0.34
42	1	3.0	0.22	0.20	0.19	0.18	0.08	0.00	0.59	0.57	0.57	0.39	0.18	0.16
43	3	1.8	0.24	0.23	0.20	0.19	0.08	0.07	0.32	0.54	0.48	0.45	0.43	0.13
44	2	1.5	0.24	0.23	0.20	0.20	0.08	0.08	0.32	0.50	0.50	0.41	0.43	0.13
45	2	3.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.09	0.09	0.34	0.69	0.58	0.51	0.42	0.36
46	1	1.8	0.25	0.22	0.21	0.21	0.09	0.09	0.61	0.53	0.53	0.47	0.42	0.17
47	3	3.0	0.30	0.29	0.30	0.28	0.06	0.06	0.43	0.71	0.66	0.66	0.61	0.28
48	5	3.0	0.35	0.33	0.33	0.32	0.34	0.33	0.57	1.00	0.93	0.33	0.27	0.91
49	5	3.0	0.43	0.37	0.28	0.27	0.35	0.34	1.30	1.06	0.81	0.57	0.48	0.65
50	6	3.5	0.31	0.29	0.14	0.28	0.28	0.55	0.60	0.83	0.84	0.68	0.44	0.31
51	4	3.0	0.31	0.24	0.32	0.31	0.12	0.11	0.53	0.83	0.83	0.69	0.68	0.31
52	3	1.7	0.24	0.17	0.29	0.28	0.09	0.09	0.41	0.72	0.72	0.66	0.63	0.21
53	3	3.0	0.27	0.27	0.21	0.20	0.09	0.10	0.61	0.74	0.54	0.41	0.39	0.19
54	2	1.5	0.36	0.31	0.30	0.28	0.14	0.13	0.47	0.88	0.86	0.56	0.60	0.32
55	4	1.5	0.38	0.29	0.35	0.33	0.18	0.17	0.58	1.00	0.95	0.80	0.75	0.37
56	4	1.5	0.34	0.29	0.29	0.28	0.16	0.15	0.56	1.00	0.97	0.65	0.63	0.24

Tab. 6. 2. 2 (3)  $\sqrt{E}$  and maximum value of longitudinal wave bending stress amidship (KIMI MARU) -3

Test No.	Sea State	$\sqrt{E}$ $\text{kg/mm}^2$						Maximum Stress Amplitude $\text{kg/mm}^2$						
		Data by DATAC and Analyzed by Computer			Data by RMS			Data by DATAC and Analyzed by Computer			Data by RMS			
Wave Height (m)	Stress Including Springing	Stress Excluding Springing	Springing Only	Computer Peak Count	[ 11 ] Range Count	Computer Peak Count	[ 31 ] Range Count	Computer Peak Count	[ 21 ] Range Count	Computer Peak Count	[ 22 ] Range Count	Computer Peak Count	[ 31 ] Range Count	Computer Peak Count
57 3 1.5	0.21	0.19	0.19	0.17	[ 21 ] Range Count	[ 31 ] Range Count	[ 22 ] Range Count	[ 32 ] Range Count	[ 21 ] Range Count	[ 22 ] Range Count	[ 21 ] Range Count	[ 22 ] Range Count	[ 31 ] Range Count	[ 32 ] Range Count
58 3 2.5	0.38	0.27	0.35	0.34	0.14	0.14	0.14	0.14	0.24	0.21	0.38	0.37	0.37	0.38
59 2 3.0	0.40	0.37	0.35	0.33	0.12	0.12	0.12	0.12	0.47	1.06	0.91	0.85	0.73	0.28
60 5 4.0	0.34	0.25	0.36	0.34	0.13	0.13	0.13	0.13	0.94	1.30	1.05	1.00	0.85	0.35
61 1 2.0	0.28	0.26	0.25	0.24	0.07	0.08	0.07	0.08	0.39	0.64	0.63	0.53	0.52	0.13
62 3 2.5	0.27	0.20	0.29	0.28	0.11	0.10	0.10	0.10	0.41	0.86	0.77	0.64	0.63	0.24
63 3 1.9	0.32	0.28	0.30	0.29	0.07	0.09	0.09	0.09	0.49	0.95	0.84	0.83	0.72	0.20
64 4 1.5	0.32	0.24	0.33	0.32	0.12	0.12	0.12	0.12	0.86	0.82	0.65	0.63	0.63	0.22
65 3 2.0	0.38	0.31	0.33	0.32	0.10	0.10	0.10	0.10	0.43	0.87	0.82	0.75	0.62	0.24
66 1 2.5	0.41	0.36	0.41	0.39	0.10	0.10	0.10	0.10	0.53	1.08	0.92	0.93	0.74	0.21
67 4 2.5	0.43	0.41	0.40	0.38	0.11	0.11	0.11	0.11	0.53	0.91	0.85	0.80	0.74	0.49
68 1 1.9	0.26	0.24	0.26	0.25	0.08	0.08	0.08	0.08	0.45	0.57	0.53	0.50	0.63	0.14
69 1 1.8	0.28	0.26	0.27	0.26	0.08	0.08	0.08	0.08	0.39	0.80	0.68	0.72	0.57	0.15
70 3 2.5	0.52	0.57	0.45	0.42	0.18	0.21	0.21	0.21	1.27	1.87	1.11	1.10	1.16	1.48
71 3 3.0	0.38	0.38	0.31	0.31	0.10	0.10	0.10	0.10	0.50	0.97	0.91	0.76	0.73	0.22
72 3 1.9	0.38	0.33	0.33	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.40	1.03	0.72	0.79	0.57	0.26
73 6 3.0	0.42	0.28	0.44	0.41	0.23	0.22	0.22	0.22	0.55	1.28	0.93	0.96	0.79	0.53
74 5 2.5	0.63	0.56	0.57	0.54	0.14	0.13	0.13	0.13	1.87	1.55	1.13	1.38	1.32	0.91
75 7 4.0	0.66	0.61	0.60	0.58	0.11	0.10	0.10	0.10	1.72	1.38	1.42	1.25	1.13	0.26
76 5 3.0	0.34	0.28	0.34	0.32	0.09	0.08	0.08	0.08	0.50	1.11	0.85	0.98	1.00	0.79
77 4 1.8	0.34	0.32	0.33	0.32	0.06	0.07	0.07	0.07	0.51	0.71	0.76	0.66	0.71	0.10
78 3 1.5	0.30	0.19	0.35	0.34	0.10	0.10	0.10	0.10	0.47	0.86	0.77	0.73	0.63	0.22
79 4 2.0	0.32	0.21	0.36	0.36	0.10	0.10	0.10	0.10	0.50	0.80	0.79	0.66	0.75	0.97

Tab. 6.2.2 (4)  $\sqrt{E}$  and maximum value of longitudinal wave bending stress amidship (KIMI MARU) -4

Date	Sea State	Beau Wave fort Height Scale	$\sqrt{E}$	$\sqrt{E}$	$\text{kg/mm}^2$	Maximum Stress Amplitude $\text{kg/mm}^2$								
			Data by Oscillograph and Analyzed by Manual						Data by oscillograph and Analyzed by Manual					
			Stress Including Springing			Stress Excluding Springing			Springing Only			Stress Including Springing		
			[11]	[12]	[21]	[22]	[31]	[32]	R.M.S.	[11]	[12]	[21]	[22]	[31]
		(m)	Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Computer	Peak Count	Range Count	Peak Count	Range Count	Computer
Dec. 14.70	5	2			0.26		0.64					2.9		3.30
15	7	4			0.94		1.02					4.6		4.14
16	8	6			1.75		2.21	2.13				7.3		8.80
17	5	4			1.20		1.75	1.32				6.0		6.78
21	5	3			0.50		0.23	0.58				2.3		1.0
22	8	5			1.80		0.51	1.73				8.1		2.5
23	7	(4)			1.60		0.43	1.80				6.4		3.1
24A	7	5			2.40		0.61	2.34				9.8		9.70
24B	10	(6)			2.60		0.60	1.98				10.8		3.0
25	9	12			3.40		1.27	3.21				17.0		19.00
26	3	3			0.60		0.80	0.80				1.2		0.9
28	6	6			0.73		0.42	1.94				3.1		3.0
29	8	8			1.09		0.60	1.27				6.8		2.0
29	7	8			1.77		0.32	1.98				8.2		2.7
31	6	2			1.18		0.37	1.43				6.3		1.7
Jan. 1.71	6	1			0.60		0.21	0.73				2.6		1.2
												3.05		

Tab. 6.2.3 Principal dimensions and coefficient of ships

Ships		Length L (m)	Breadth B (m)	Depth D (m)	D.W. (t)	Z = I/y (cm <sup>3</sup> )	C = $\frac{Z}{\rho g L^3 B}$ (kg/mm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	Reference
Bulk/Ore Carrier	YAKUMOKAWA MARU	220.0	32.2	18.5	64.880	$22.74 \times 10^6$	$0.53 \times 10^{-4}$	1)
"	SHOBU MARU	236.2	31.85	18.75	63.420	$23.04 \times 10^6$	$0.535 \times 10^{-4}$	
"	KIMI MARU	238.0	32.2	18.2	62.325	$23.20 \times 10^6$	$0.521 \times 10^{-4}$	
Oil Tanker	NIKKO MARU	192.3	26.8	13.72	35.280	$16.0 \times 10^6$	$0.83 \times 10^{-4}$	6, 7, 8)
	TOKYO MARU	290.0	47.5	24.0	150.000	$71.7 \times 10^6$	$0.61 \times 10^{-4}$	
	MEISEN MARU	304.0	44.0	24.2	152.852	$64.7 \times 10^6$	$0.52 \times 10^{-4}$	
General Cargo	SEATLE MARU	145.0	19.4	12.5	12.000	$6.0 \times 10^6$	$1.06 \times 10^{-4}$	11)
"	OSHIMA MARU	145.4	19.5	12.3	12.000	$6.0 \times 10^6$	$1.04 \times 10^{-4}$	9)
"	HODAKASAN MARU	145.1	19.6	12.5	11.200	$6.1 \times 10^6$	$0.98 \times 10^{-4}$	

$$\text{Non-dimensional Wave Bending Moment} = \bar{M} = M / \rho g L^3 B = Z X / \rho g L^3 B = C X$$

X = Wave Bending Stress (kg/mm)

M = Wave Bending Moment

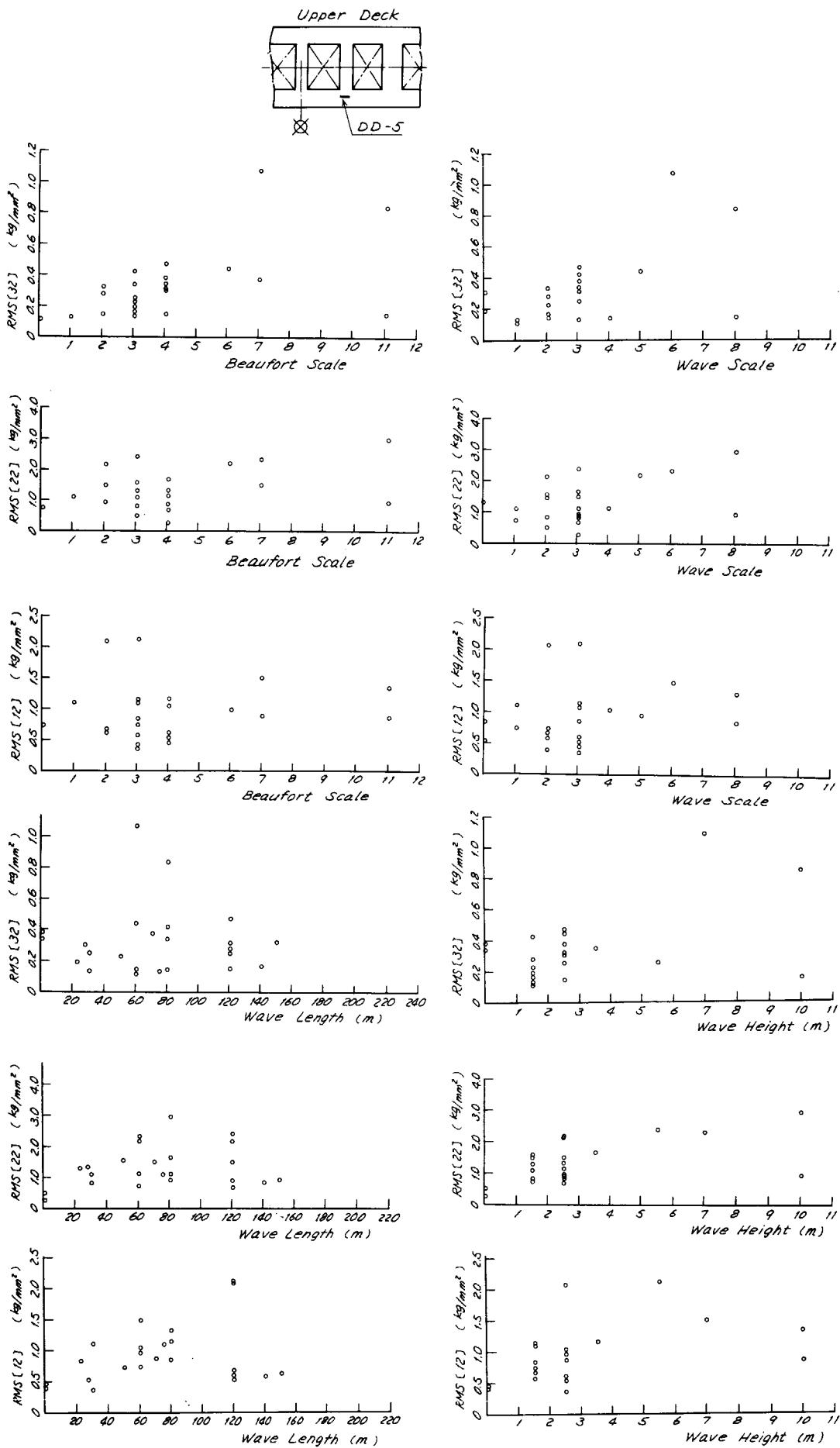


Fig. 6.2.1 Longitudinal wave bending stress (RMS of double amplitude,  $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (SHOBU MARU)

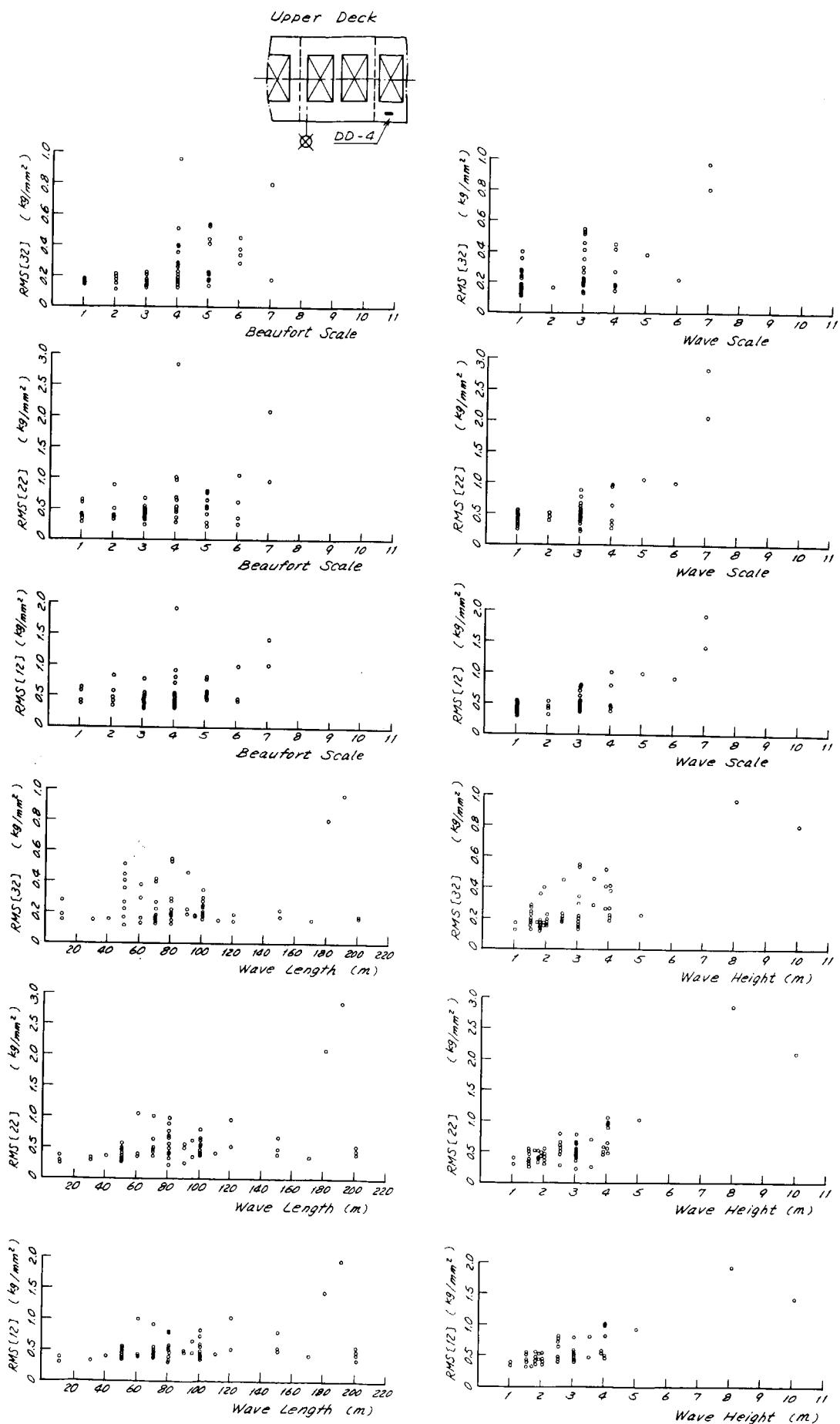


Fig. 6. 2. 2 Longitudinal wave bending stress (RMS of double amplitude,  $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)

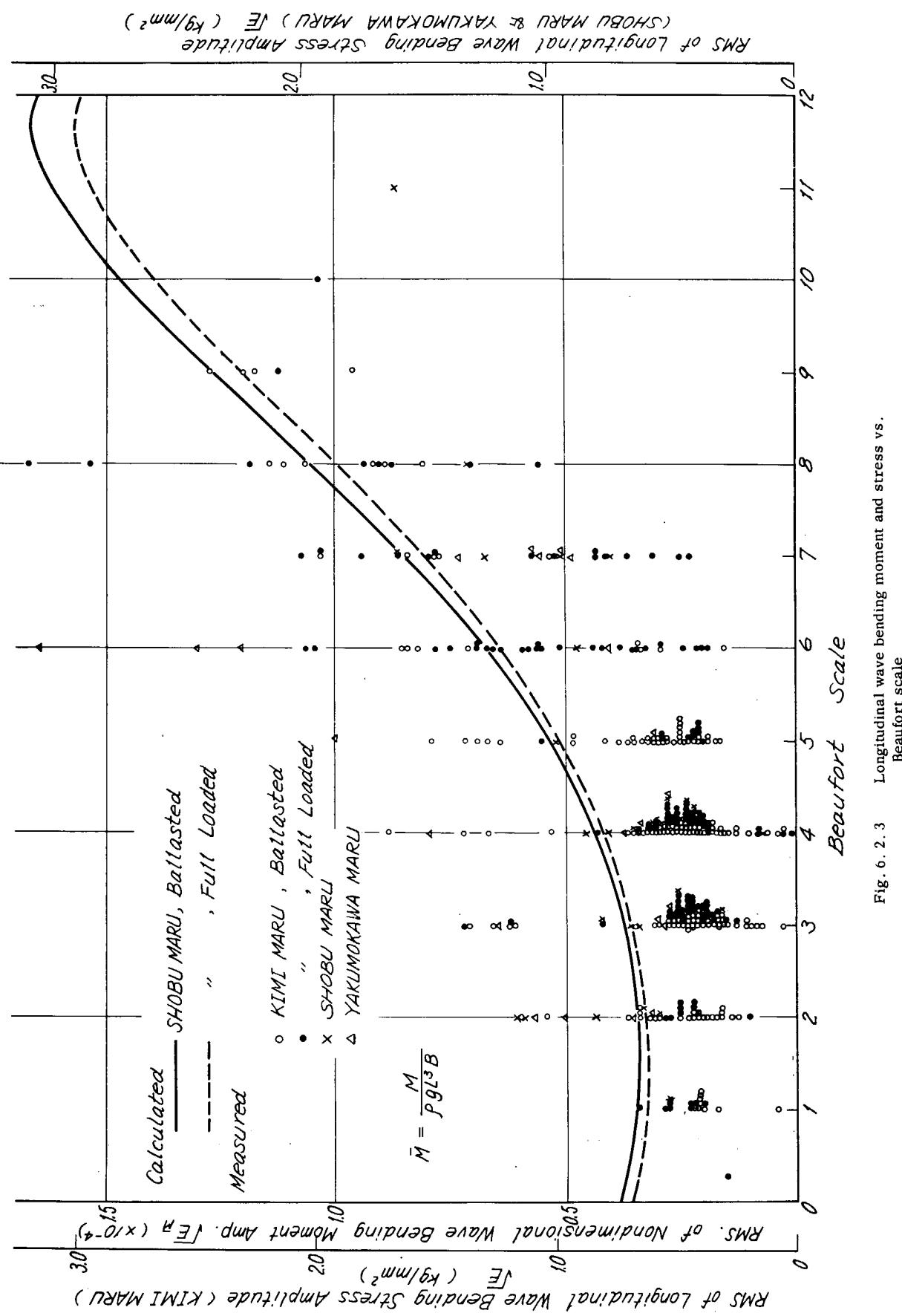


Fig. 6.2.3 Longitudinal wave bending moment and stress vs.  
Beaufort scale

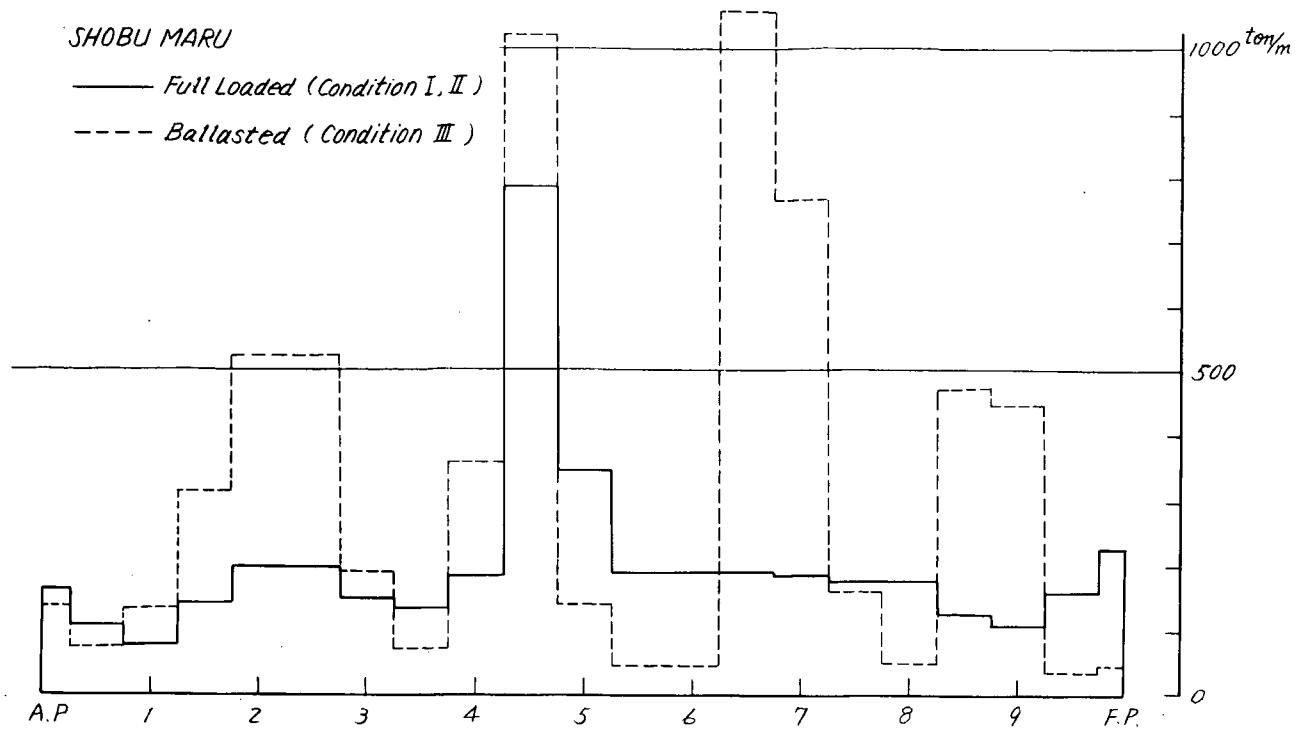


Fig. 6. 2. 4 Weight distribution of SHOBU MARU

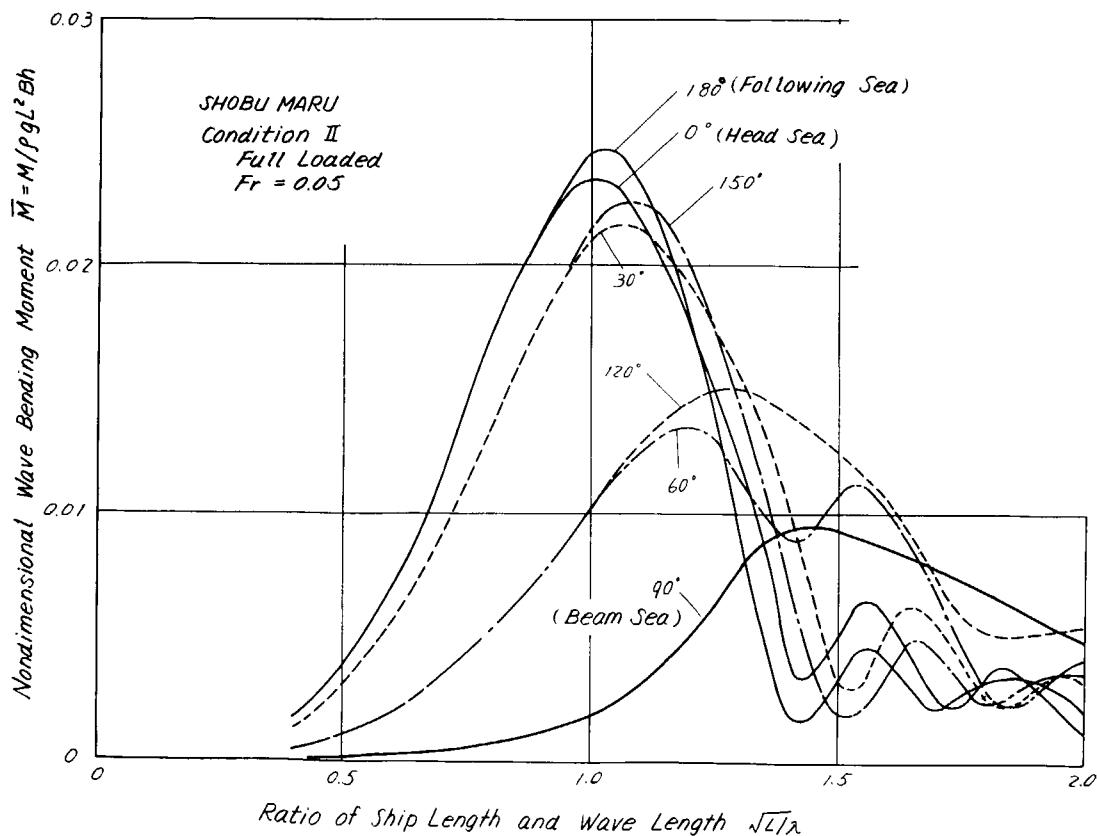


Fig. 6. 2. 5 (1) Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Full loaded)

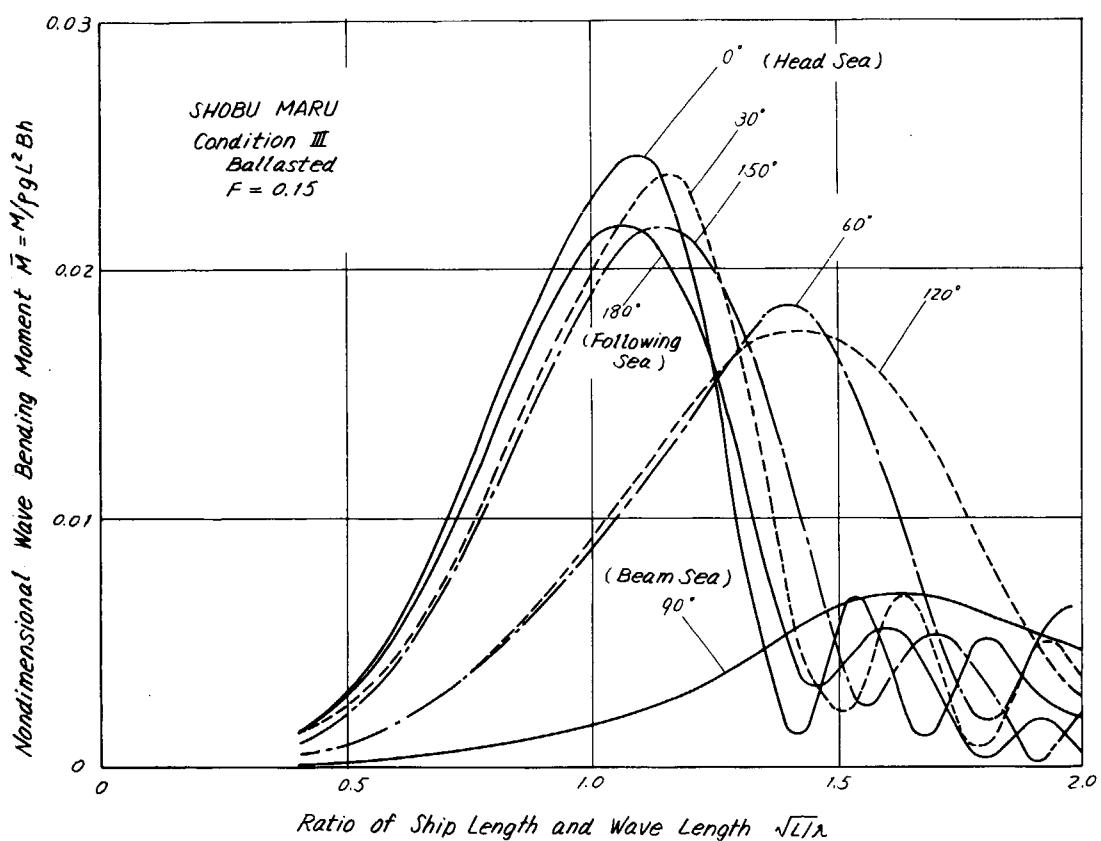


Fig. 6. 2. 5 (2) Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Ballasted)

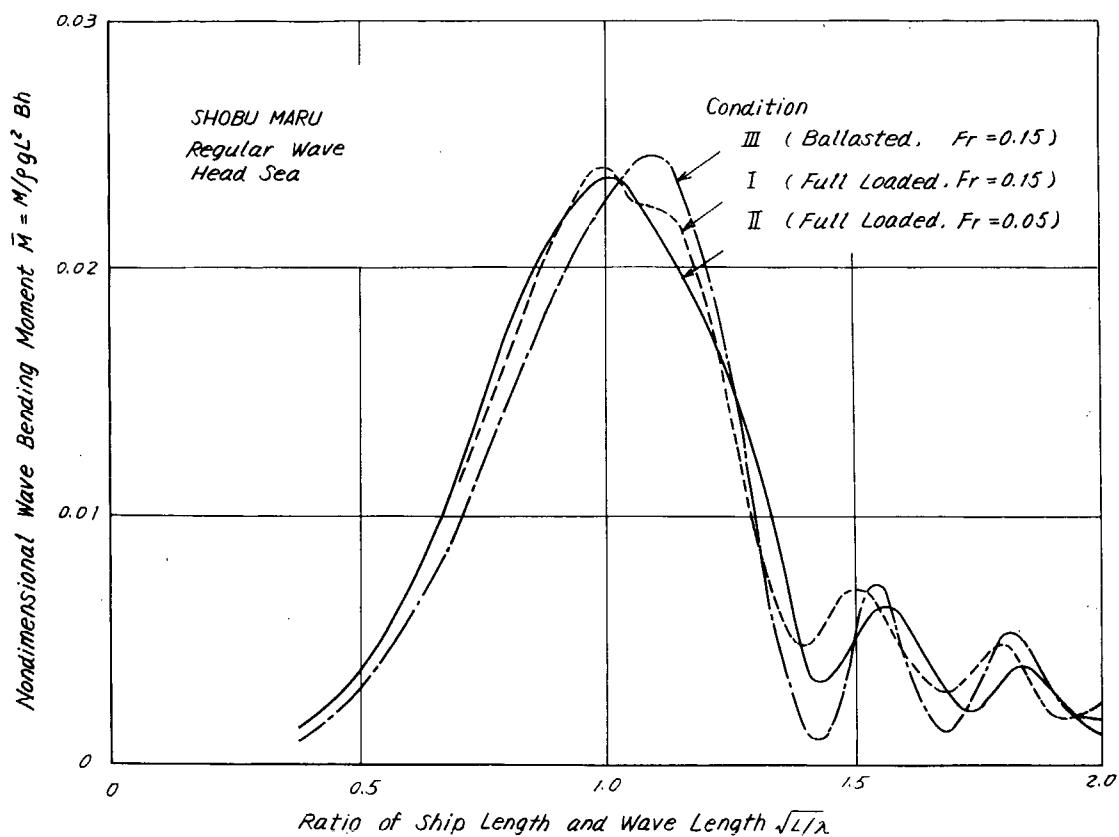


Fig. 6. 2. 6 Response function of longitudinal wave bending moment amidship (SHOBU MARU, Head seas)

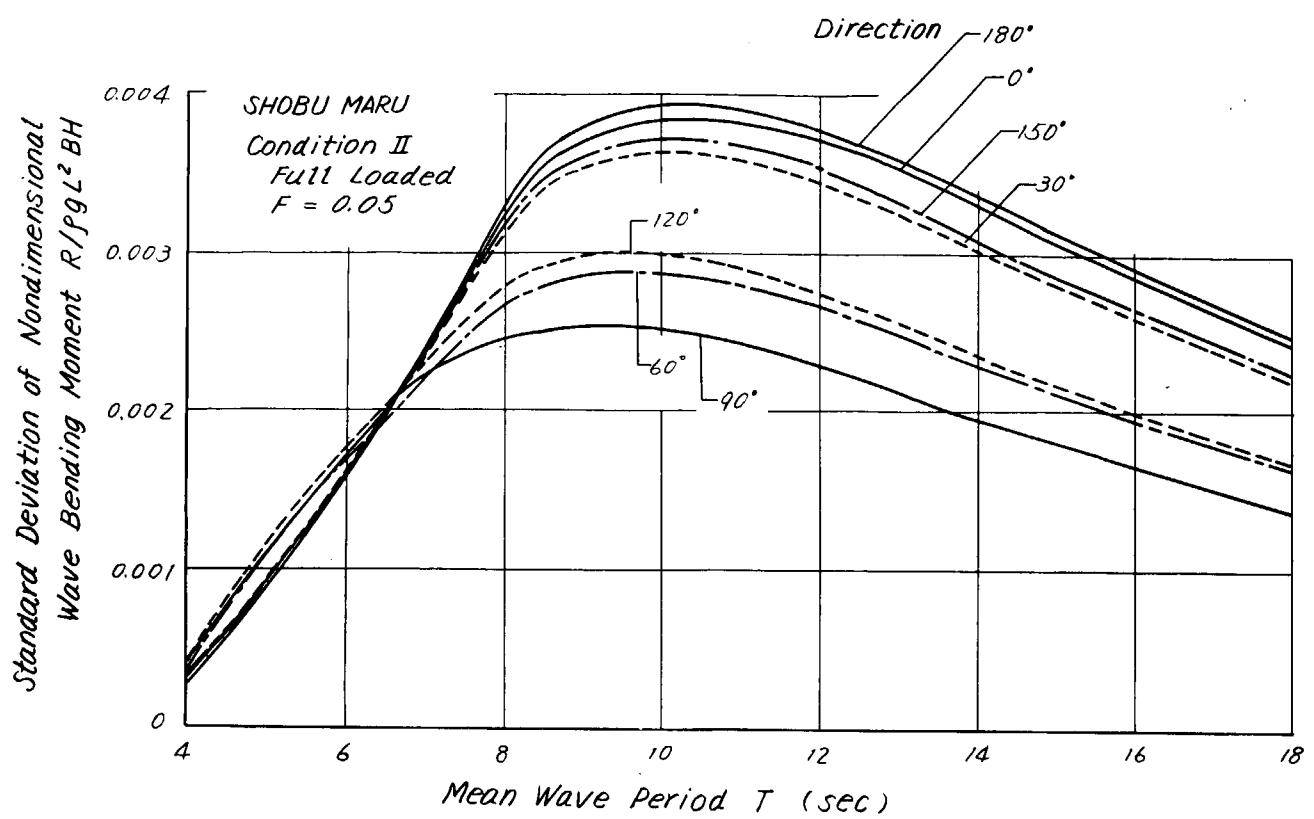


Fig. 6. 2. 7 (1) Longitudinal wave bending moment vs. mean wave period  
(SHOBU MARU, Full loaded)

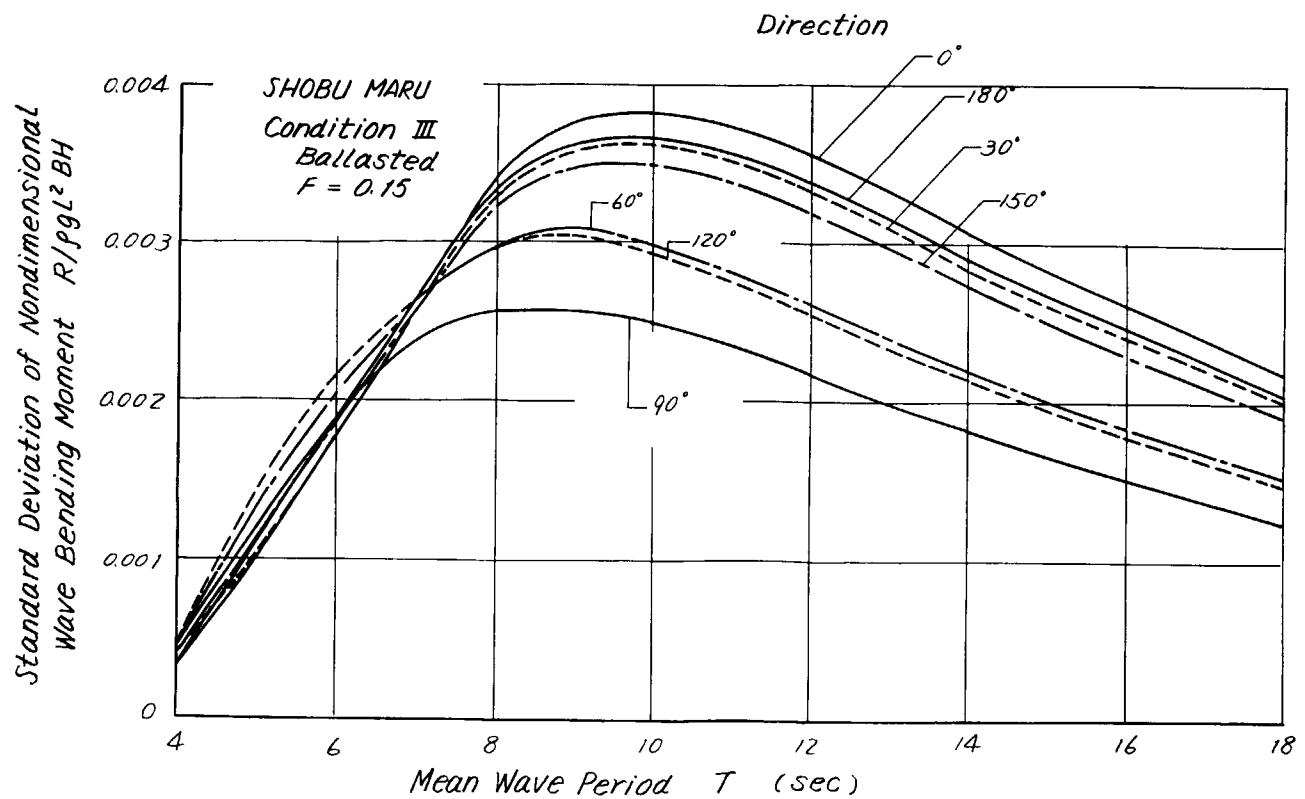


Fig. 6. 2. 7 (2) Longitudinal wave bending moment vs. mean wave period  
(SHOBU MARU, Ballasted)

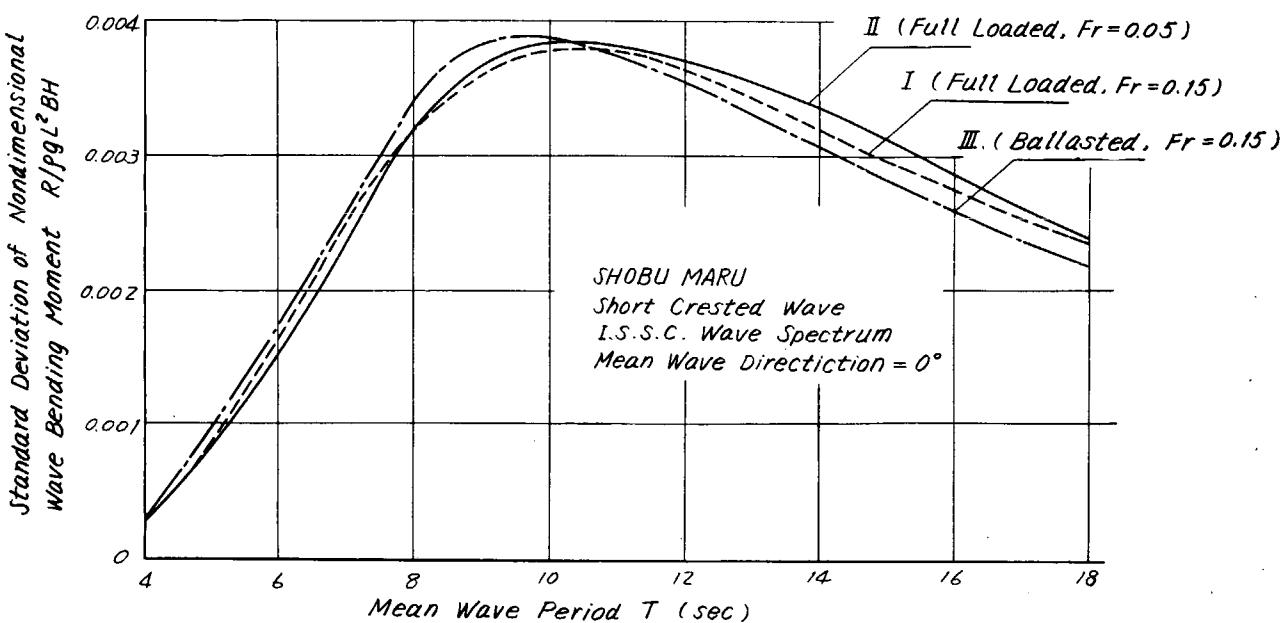


Fig. 6.2.8 Standard deviation of longitudinal wave bending moment vs. mean wave period (SHOBU MARU, Mean direction = 0°)

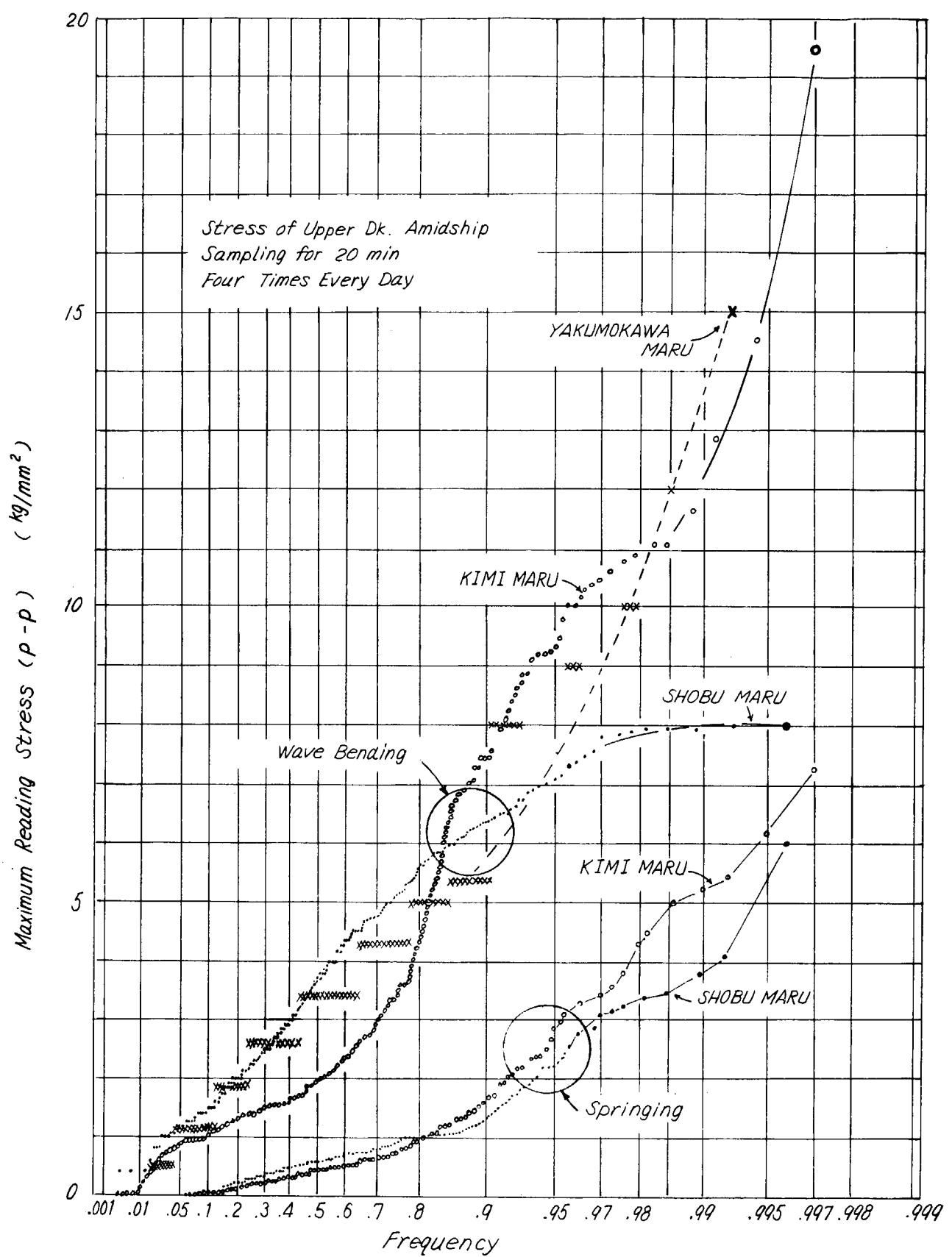


Fig. 6.3.1 Frequency of maximum reading stress

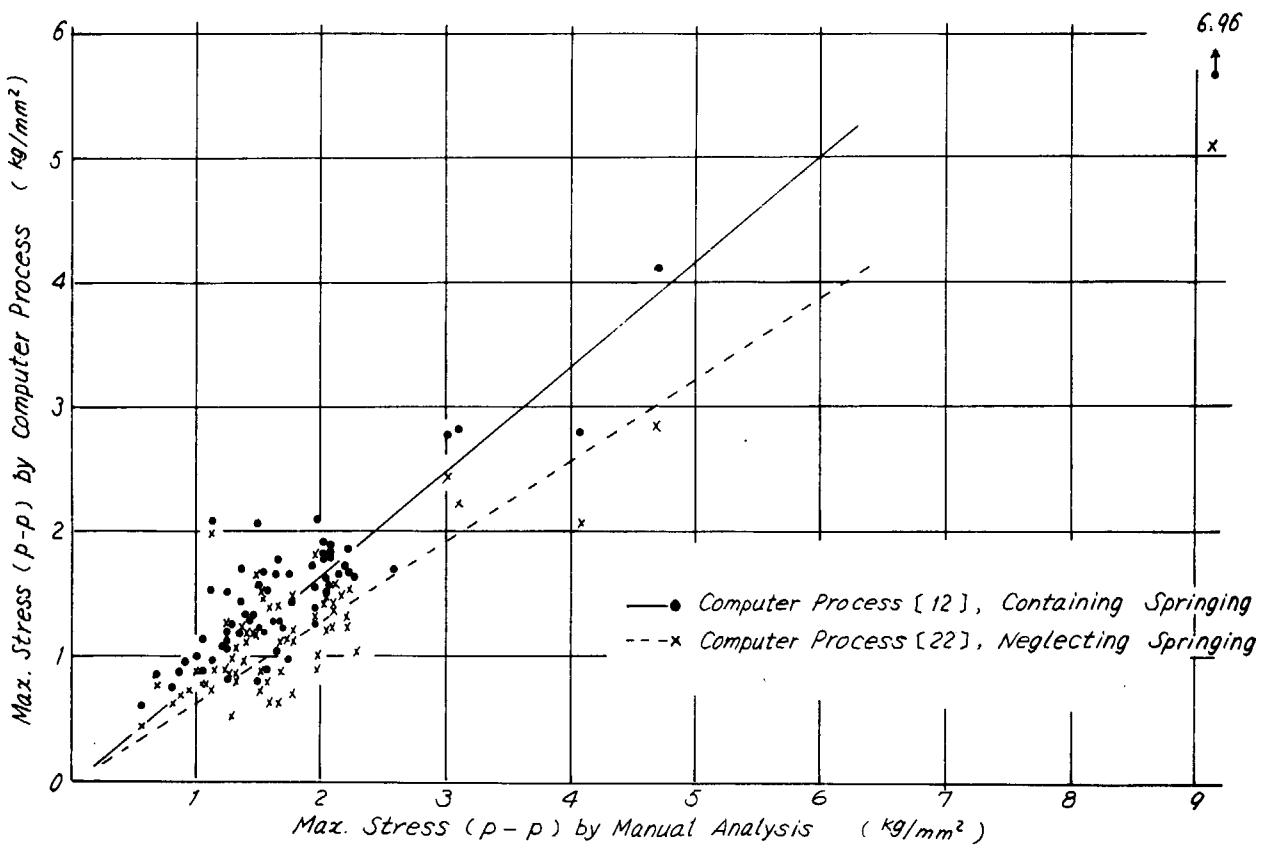


Fig. 6.3.2 Comparison of max. stress by different analysing method

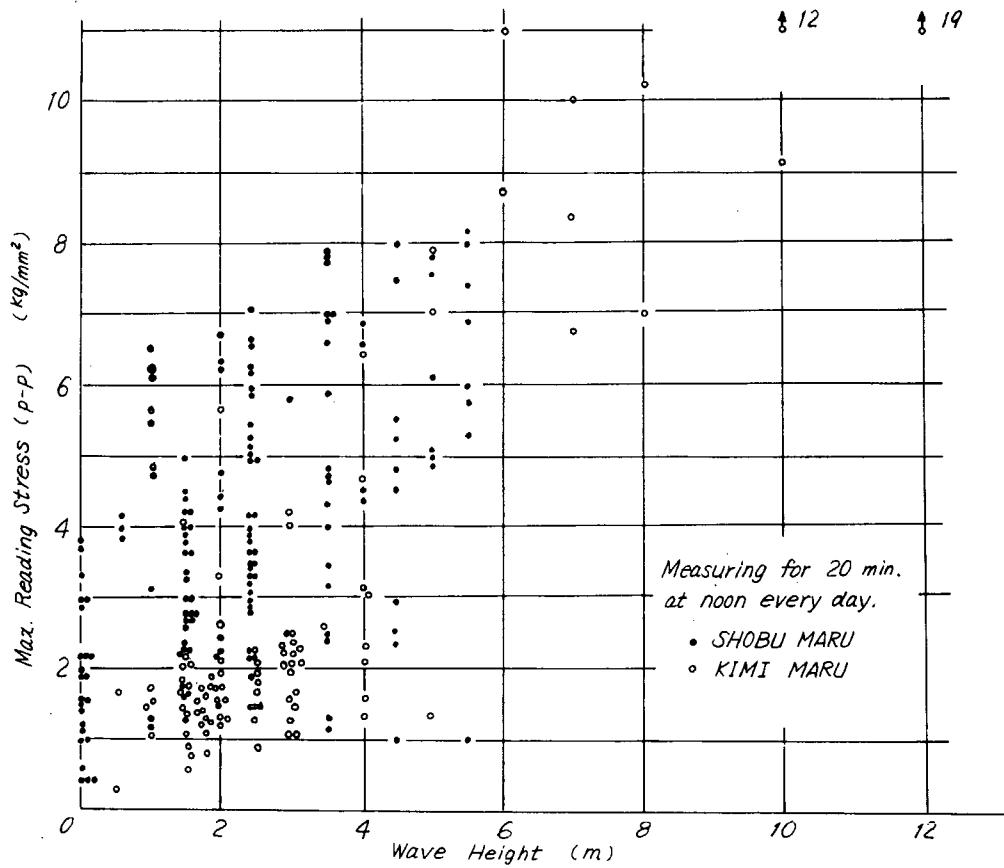


Fig. 6.3.3 Maximum reading stress vs. wave height

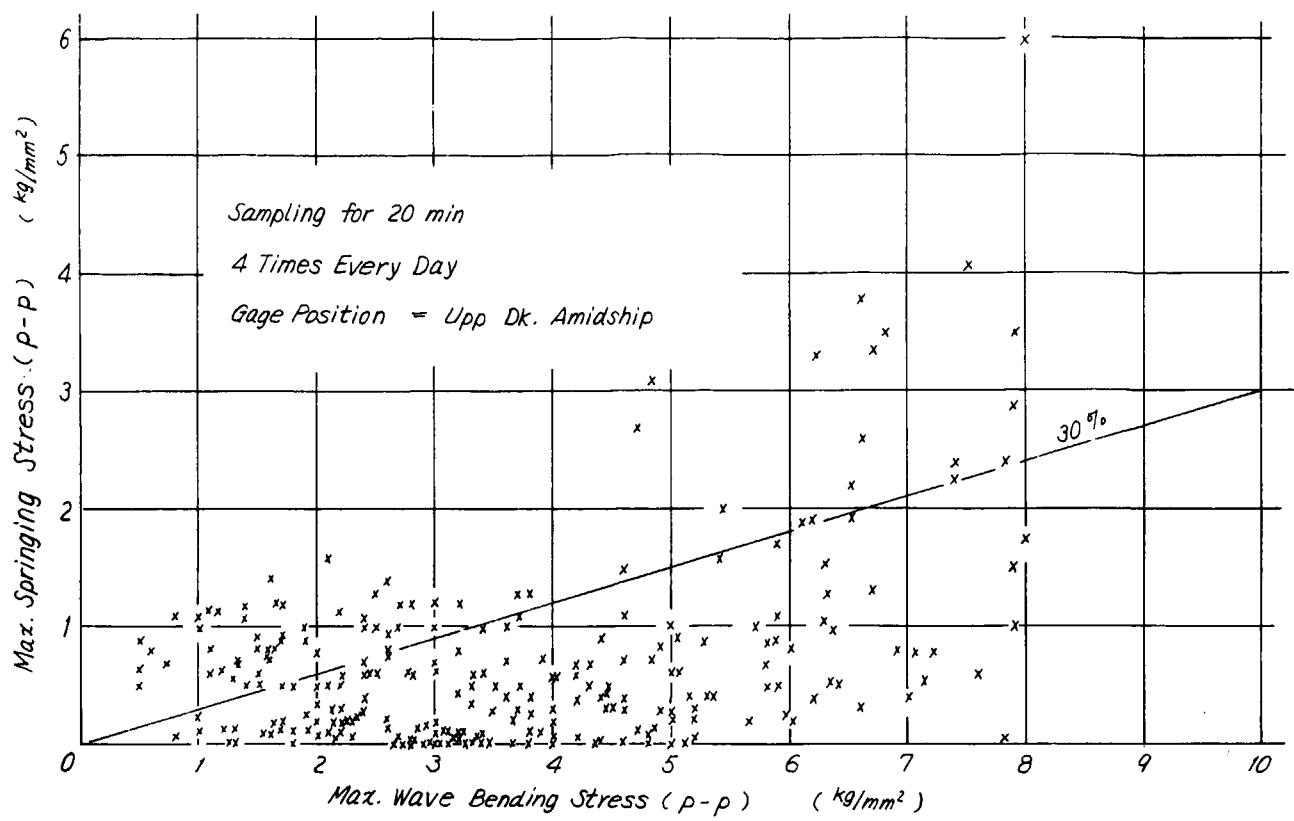


Fig. 6. 4. 1 Springing stresses vs. wave bending stress (SHOBU MARU)

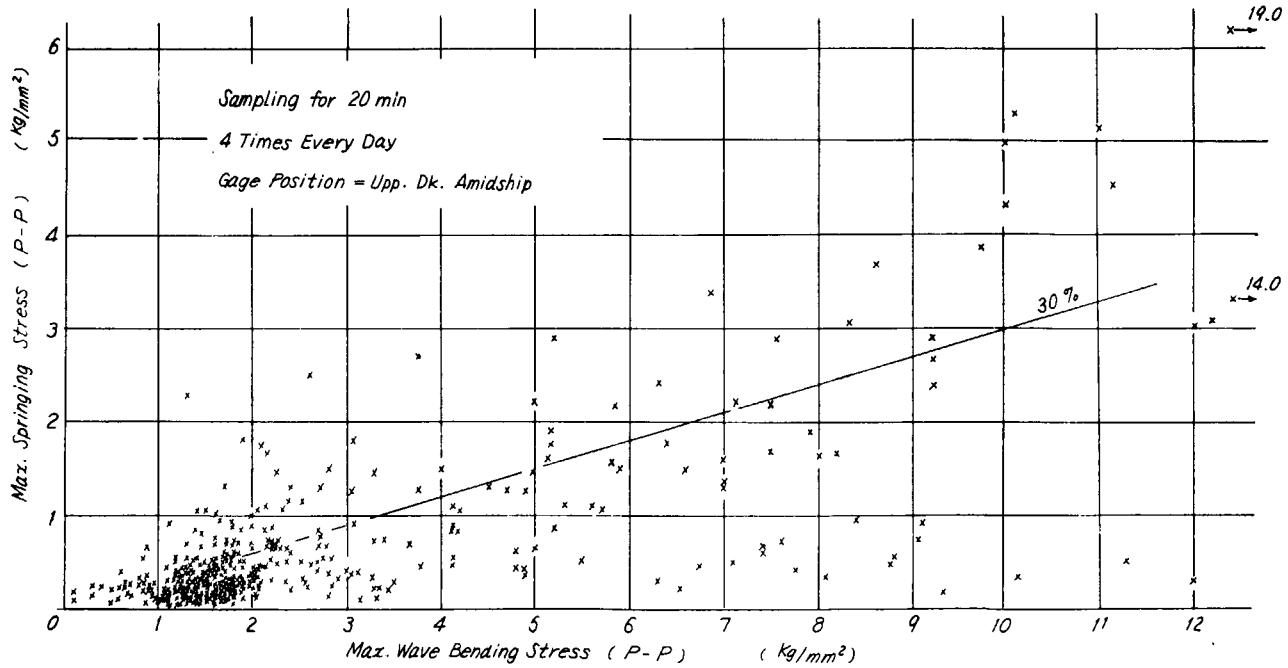


Fig. 6. 4. 2 Springing stresses vs. wave bending stress (KIMI MARU)

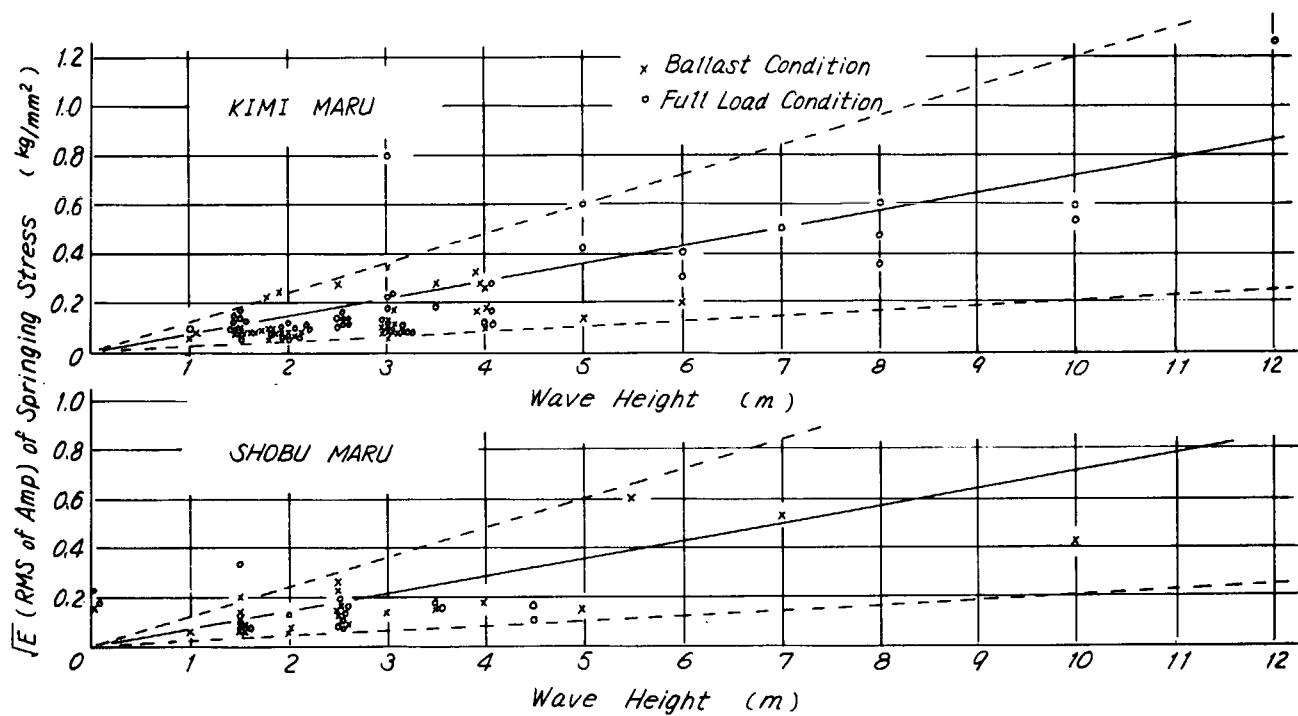


Fig. 6.4.3  $\sqrt{E}$  of springing stress vs. wave height

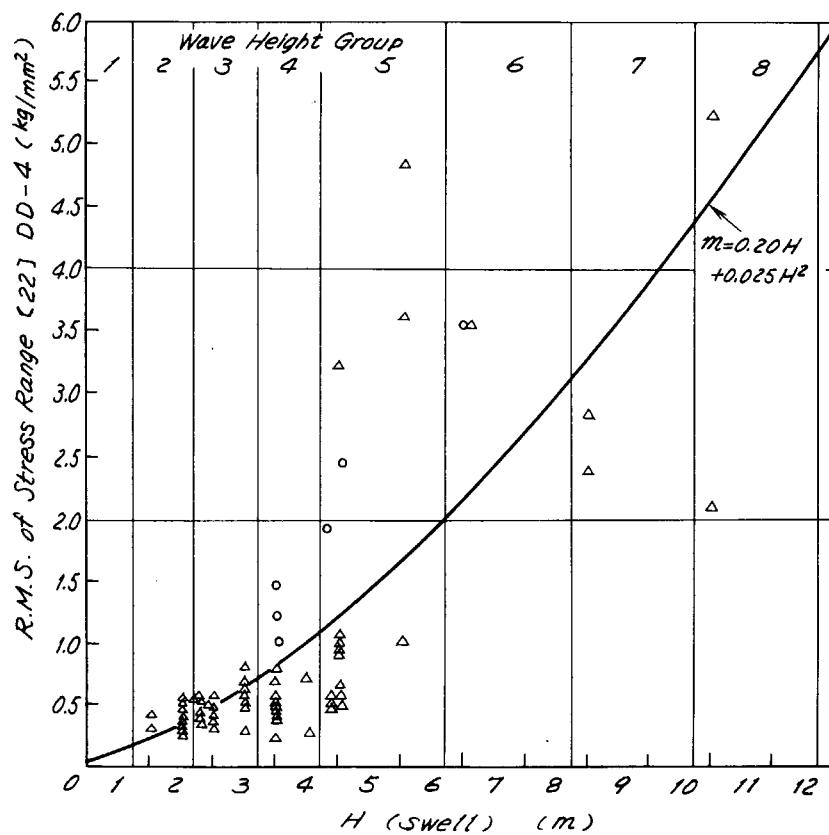


Fig. 6.5.1 Bending stresses and wave height (KIMI MARU)

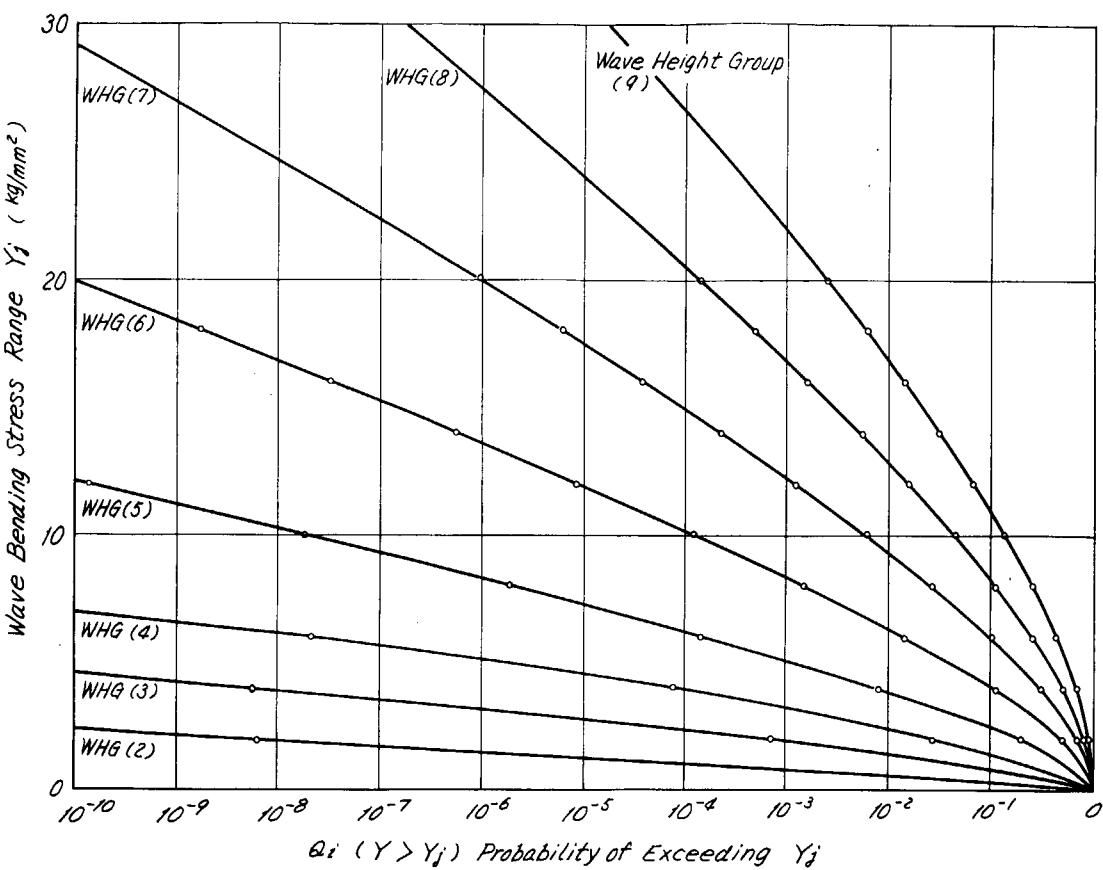


Fig. 6.5.2 Long-term probability of wave bending stress in different wave height groups (KIMI MARU)

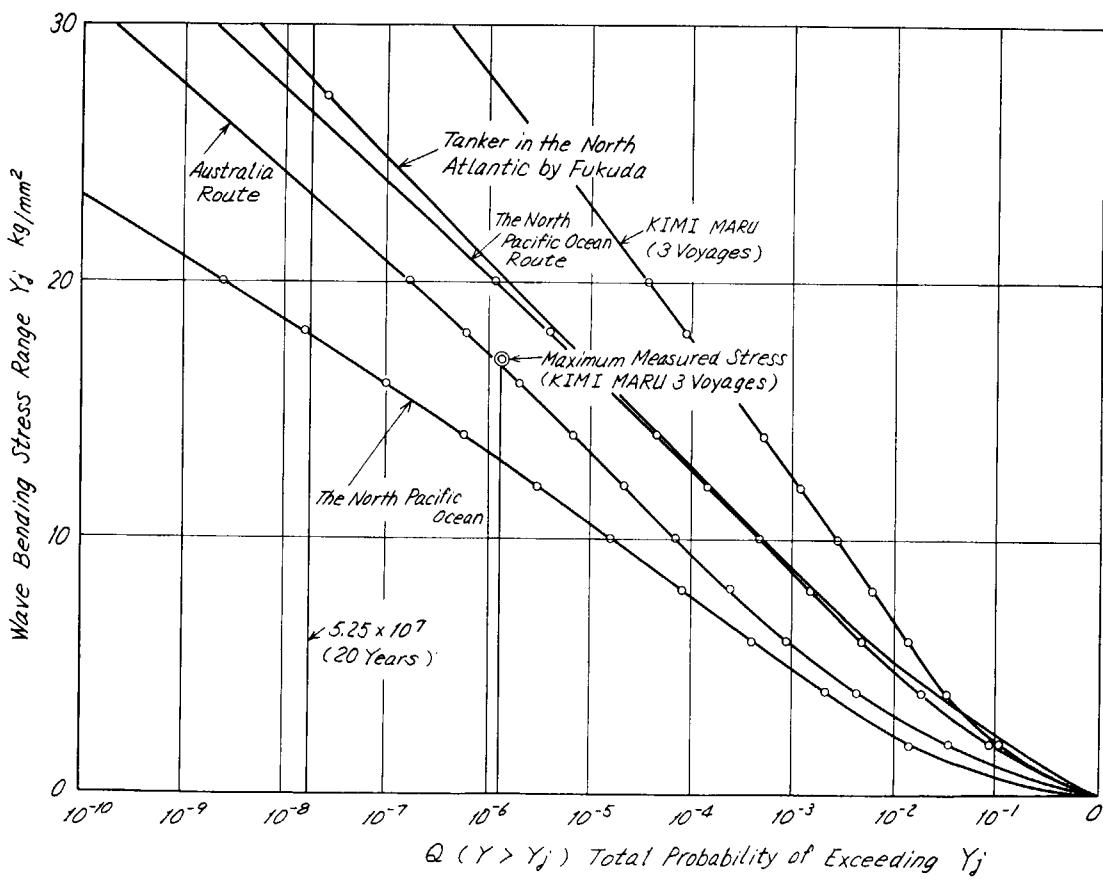


Fig. 6.5.3 Long-term probabilities of wave bending stress in several assumed weather conditions (KIMI MARU)

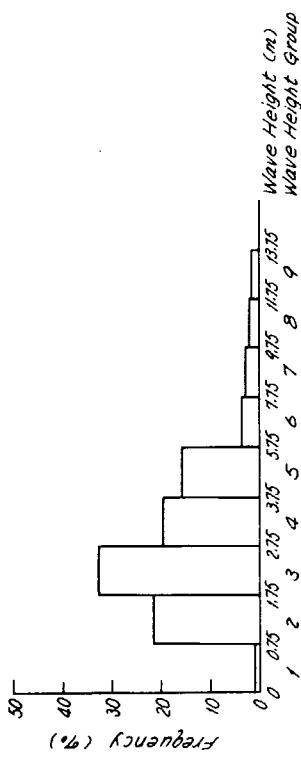


Fig. 6. 5. 4 Histogram of swell height (Mean of 3 voyages, KIMI MARU)



Fig. 6. 5. 7 Histogram of swell height (Mean of the North Pacific Ocean, by Yamanouchi 18)

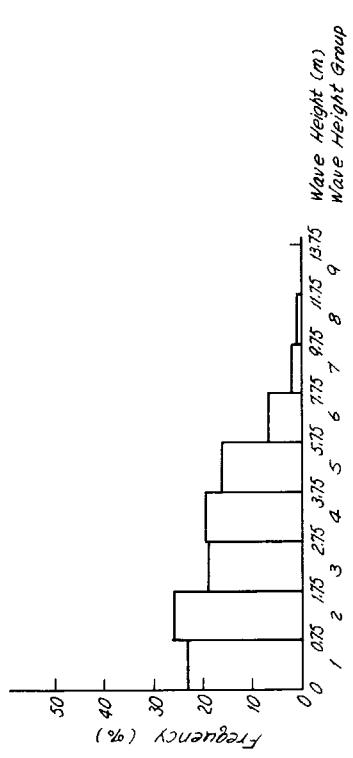


Fig. 6. 5. 5 Histogram of swell height of the North Pacific Ocean route (Fig. 4. 2. 4)

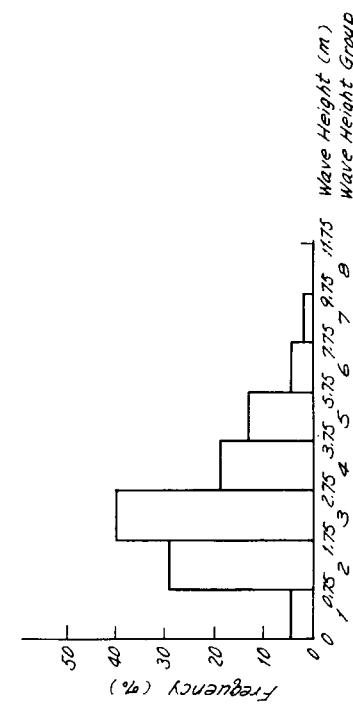


Fig. 6. 5. 8 Histogram of swell height of the North Atlantic Ocean, by Walden (Used in calculation by Fukuda 17)

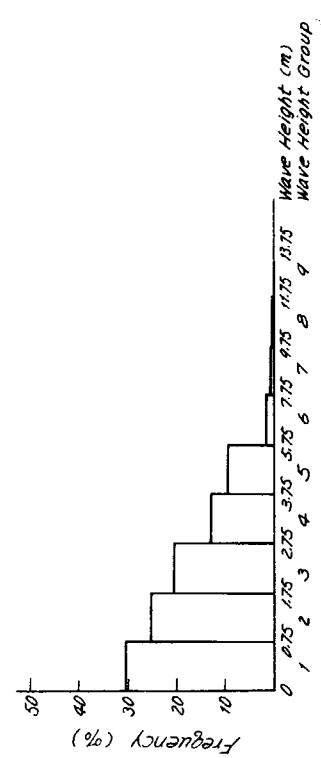


Fig. 6. 5. 6 Histogram of swell height of Australia route (Fig. 4. 2. 4)

Tab. 7.1.1

Local stresses in some conditions (SHOBU MARU,  
Processed by method [2.1])

Test No.	48	70	72	7	6	7	12	15	18	19	
Wave Height (m)	5 ~ 6	2.5	7	1.5	2.5	5.0	8.0	4.0	4.0	10.0	
Beaufort Scale	3	6	7	3	5	4	4	6	6	7	
Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.	
Gage No.	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	
DD-1	.39	.95	.34	.84	.21	.57	DD-1	.18	.36	.19	.38
-2	.52	1.40	.53	1.28	.36	.74	2	.19	.36	.16	.32
-3	1.13	2.38	.85	2.00	.58	1.29	3	.14	.32	.24	.48
-4	1.19	2.58	1.01	2.45	.69	1.51	4	.19	.37	.24	.55
-5	1.18	2.76	1.08	2.63	1.25	2.94	ACD-1	.10	.21	.08	.13
-6	1.15	2.39	.94	2.23	.70	1.48	DC-1	.22	.52	.19	.93
-7	1.00	2.08	.78	1.91	.62	1.25	DF-1	.07	.10	.15	.31
-8	.83	1.87	.69	1.68	.51	1.00	2	.06	.07	.07	.10
-9	.58	1.25	.37	.94	.27	.58	Side	3	.09	.13	.24
-10	.11	.23	.18	1.24	.12	.62	Frame	4	.06	.09	.14
-11	.95	2.08	.66	1.61	.51	.99	5	.06	.07	.11	.20
-12	1.11	2.41	.99	2.34	.69	1.52	Side Shell Plate	6	.05	.06	.09
DB-1	.38	.94	.27	1.29	.19	.65	DS-1	.06	.09	.06	.14
Inner Bottom Plate	-2	.98	2.23	.30	.69	.23	Inner Bottom	2	.07	.12	.09
Bottom Girder	SB-1	.90	1.80	.29	.84	.19	DG-1P	.08	.16	.07	.11
Bottom Floor	5	1.28	2.50	.16	.95	.46	2P	.03	.03	.09	.15
Bottom Girder	6	.47	1.00	.14	.30	.10	Center Girder	3P	0	0	0
Side Frame	DL-1F	.19	.39	.19	.45	.16	1S	.08	.13	.06	.09
Bottom Girder	DG-1P	.42	.96	—	—	.52	2A	.06	.07	.06	.06
DF-1P	-2P	—	—	.51	1.38	.72	3S	0	0	0	.06
Bottom Longl.	-1S	—	—	.72	1.90	.14	3A	0	0	0	.07
-2S	—	—	—	.72	1.90	.14	DL-1	.07	.14	.06	.09

Tab. 7.1.2 Local stresses in some conditions (KIMI MARU,  
Processed by method [2.1])

Test No.	6	7	12	15	18	19
Wave Height (m)	5 ~ 6	7	5.0	8.0	4.0	10.0
Beaufort Scale	3	6	5	4	6	7
Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.	$\sqrt{E}$	Max.
Gage No.	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )	Gage No.	Stress Amp. (kg/mm <sup>2</sup> )
DD-1	.18	.36	.19	.38	.04	.21
-2	.19	.36	.16	.32	.59	.169
-3	.14	.32	.12	.24	.48	.125
-4	.19	.37	.24	.55	.63	.179
-5	.10	.21	.08	.13	.28	.58
-6	.22	.52	.19	.93	.96	.230
-7	.07	.10	.15	.31	.27	.49
-8	.06	.09	.14	.23	.23	.72
-9	.06	.09	.14	.23	.18	.15
-10	.06	.07	.11	.20	.29	.83
-11	.05	.06	.14	.22	.38	.33
-12	.06	.09	.08	.17	.33	.08
DS-1	.06	.09	.14	.22	.37	.10
Side Shell Plate	2	0	0	.18	.36	.53
DB-1	.05	.05	.05	.19	.22	.60
Inner Bottom	2	.07	.12	.23	.33	.23
DG-1P	.08	.16	.07	.27	.53	.48
2P	.03	.03	0	.15	.11	.22
Center Girder	3P	0	0	0	.07	.06
1S	.08	.13	.06	.09	.22	.44
2A	.06	.07	.06	.19	.36	.100
3S	0	0	0	.06	.15	.11
3A	0	0	0	.07	.05	.05
DL-1	.07	.14	.06	.09	0	0
2	.09	.14	.09	.20	.39	.98
Bottom Longl.	3	.07	.12	.09	.17	.25

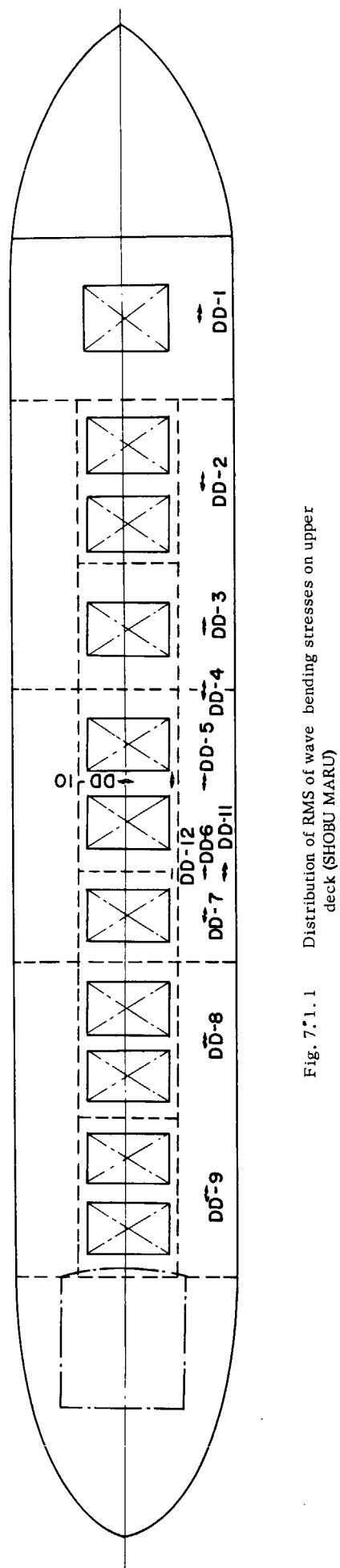
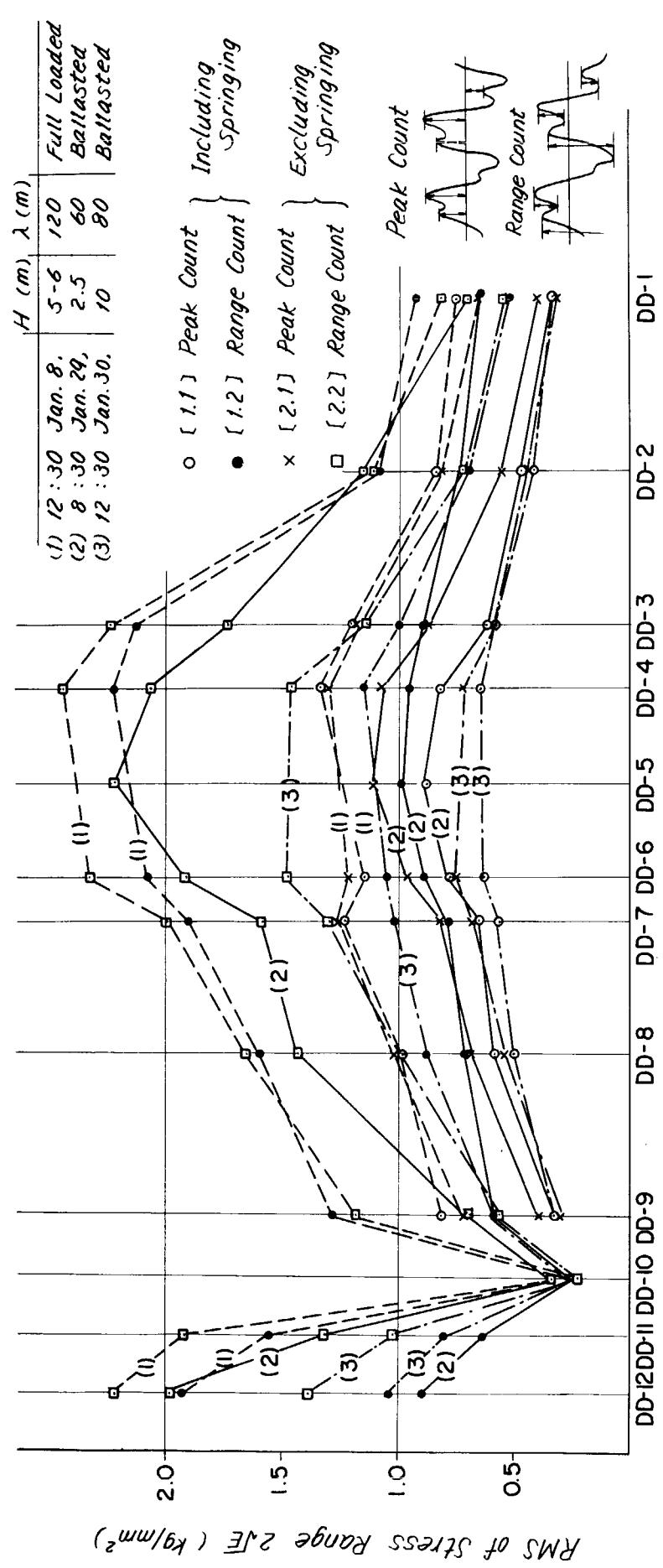


Fig. 7.1.1 Distribution of RMS of wave bending stresses on upper deck (SHOBU MARU)

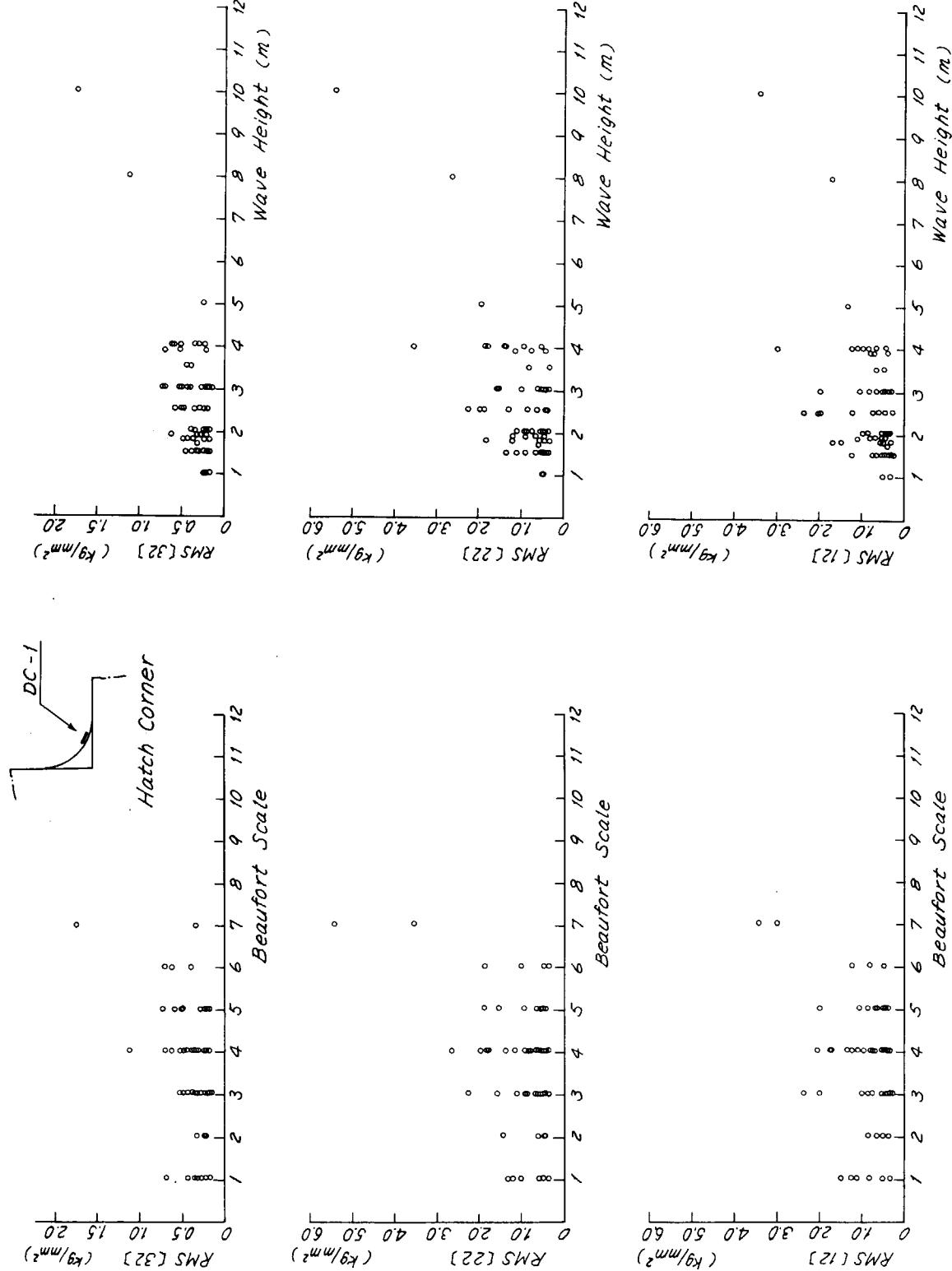


Fig. 7.1.2 Wave induced stress in hatch corner  
(RMS of stress range,  $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARRU)

*Inner Bottom Plate*

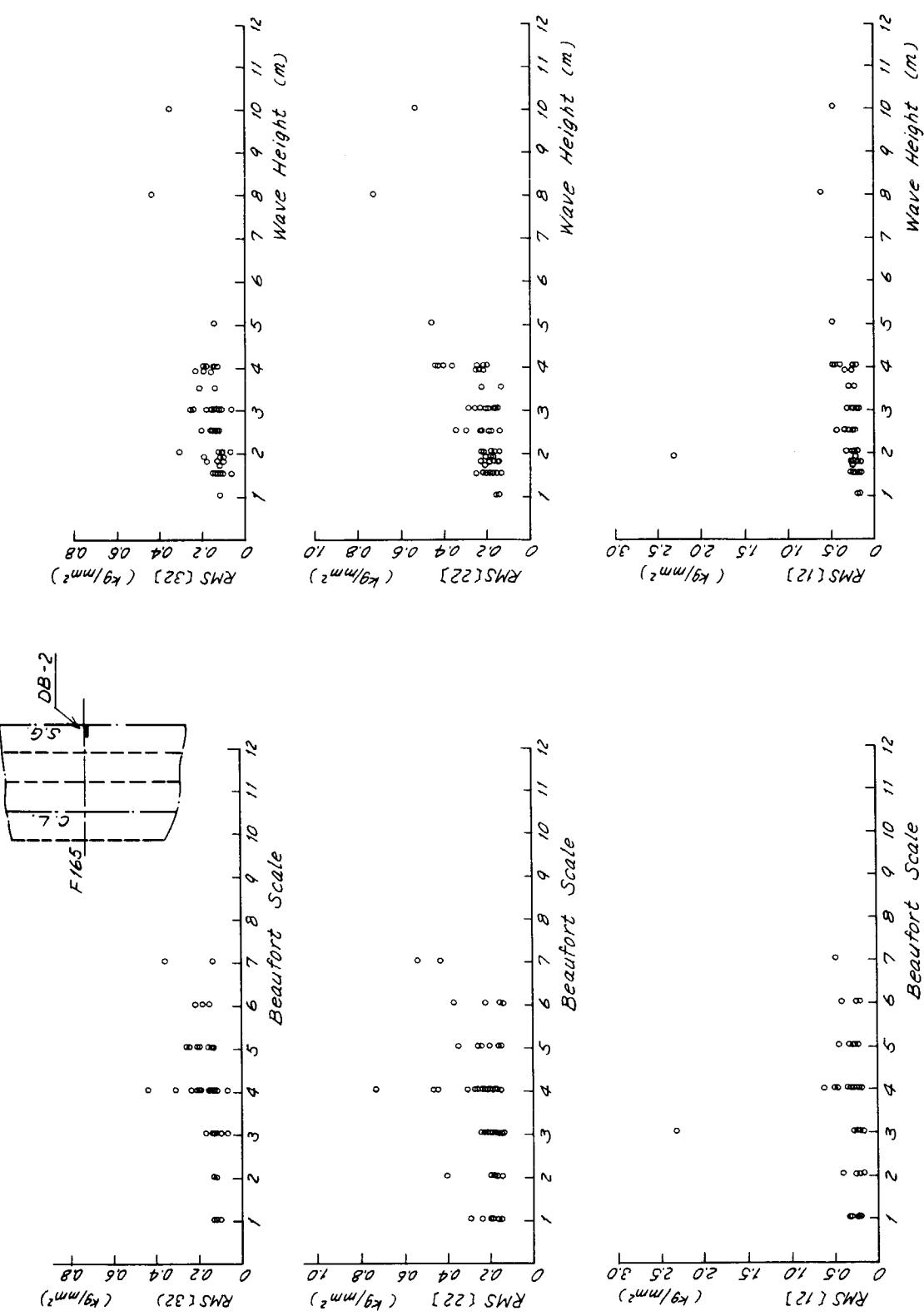


Fig. 7.1.3 Wave induced stress in inner bottom  
(RMS of stress range,  $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)

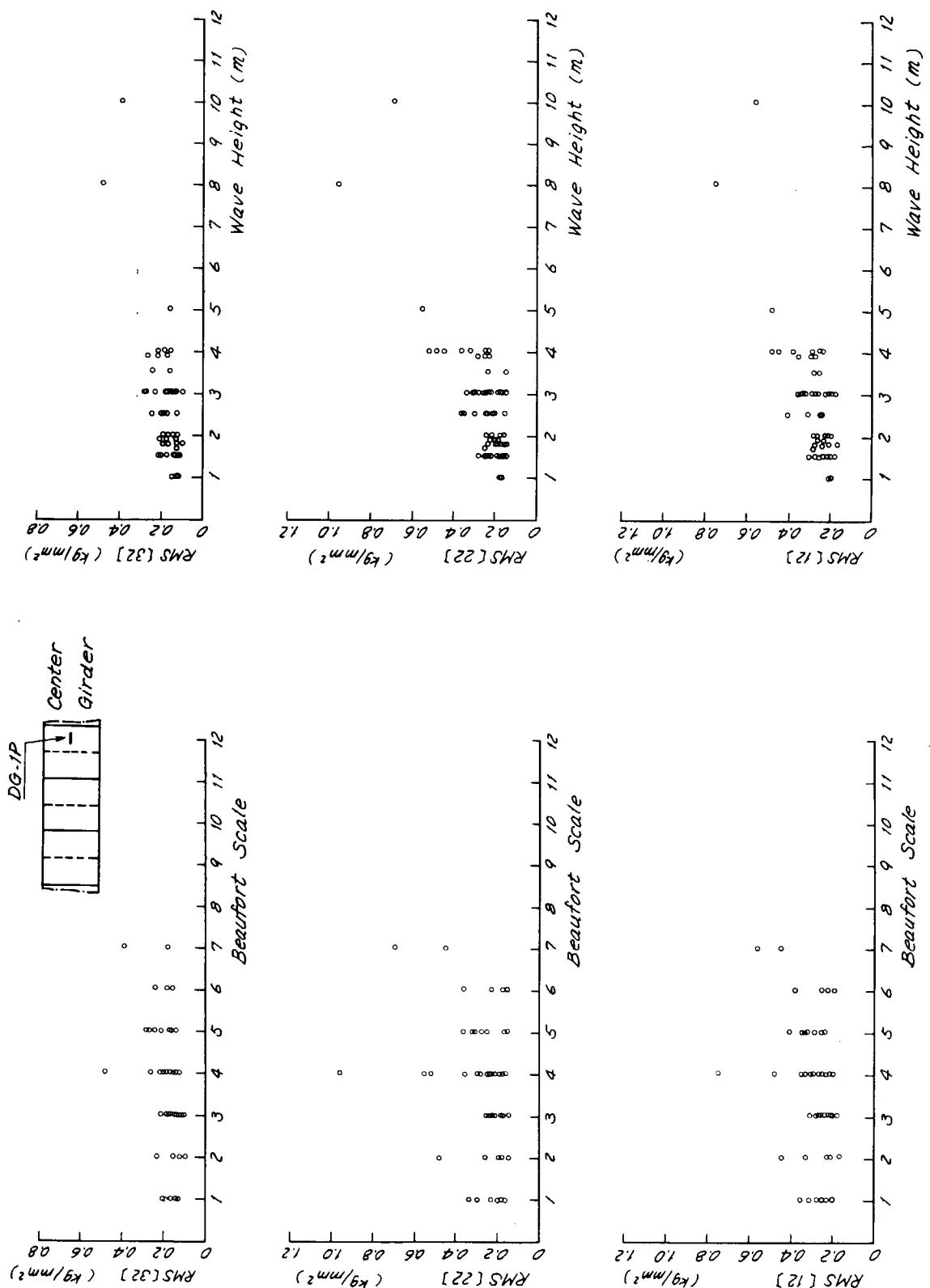


Fig. 7.1.4 Wave induced stress in center girder  
(RMS of stress range,  $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)

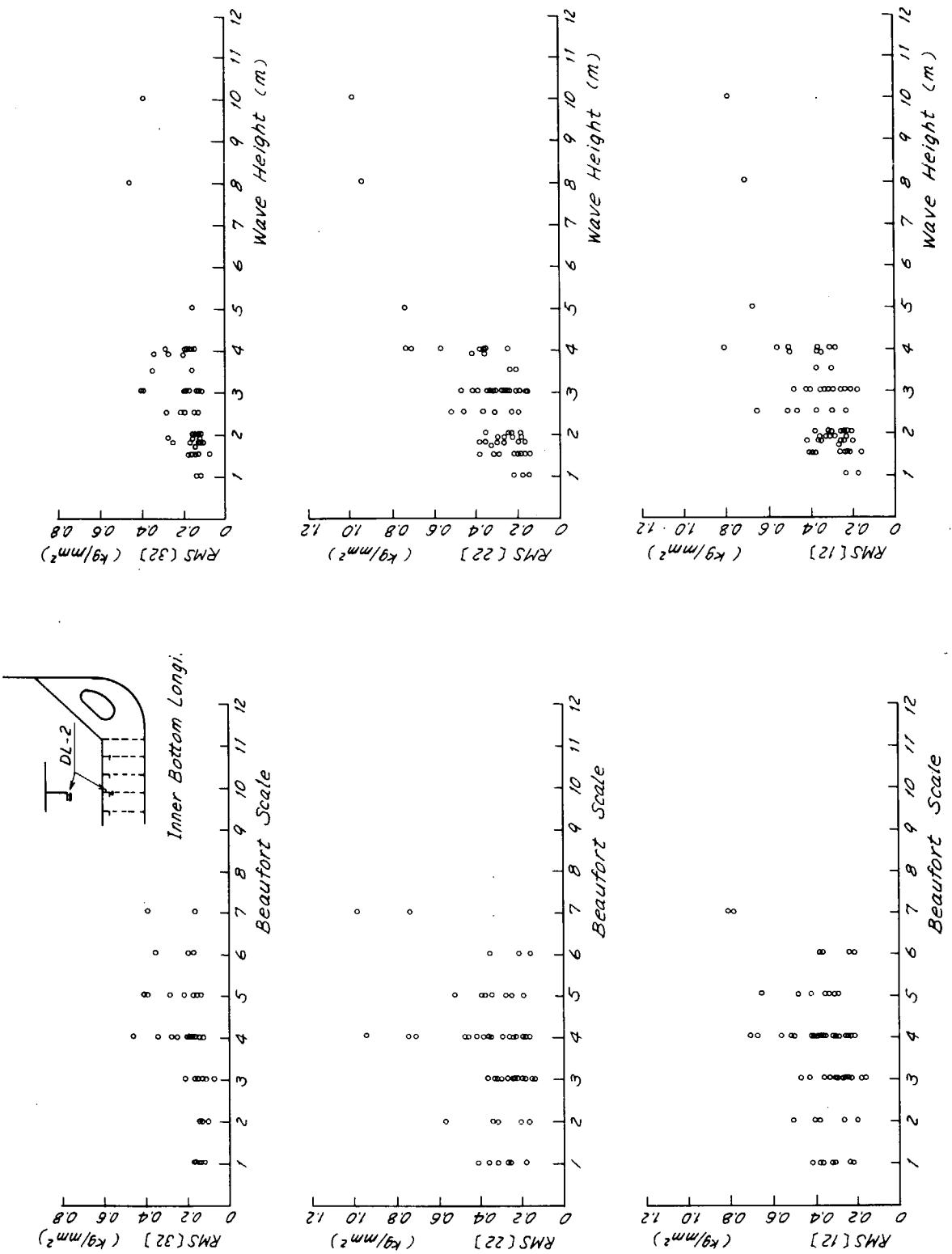


Fig. 7.1.5 Wave induced stress in bottom floor (RMS of stress range,  $2\sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARI)

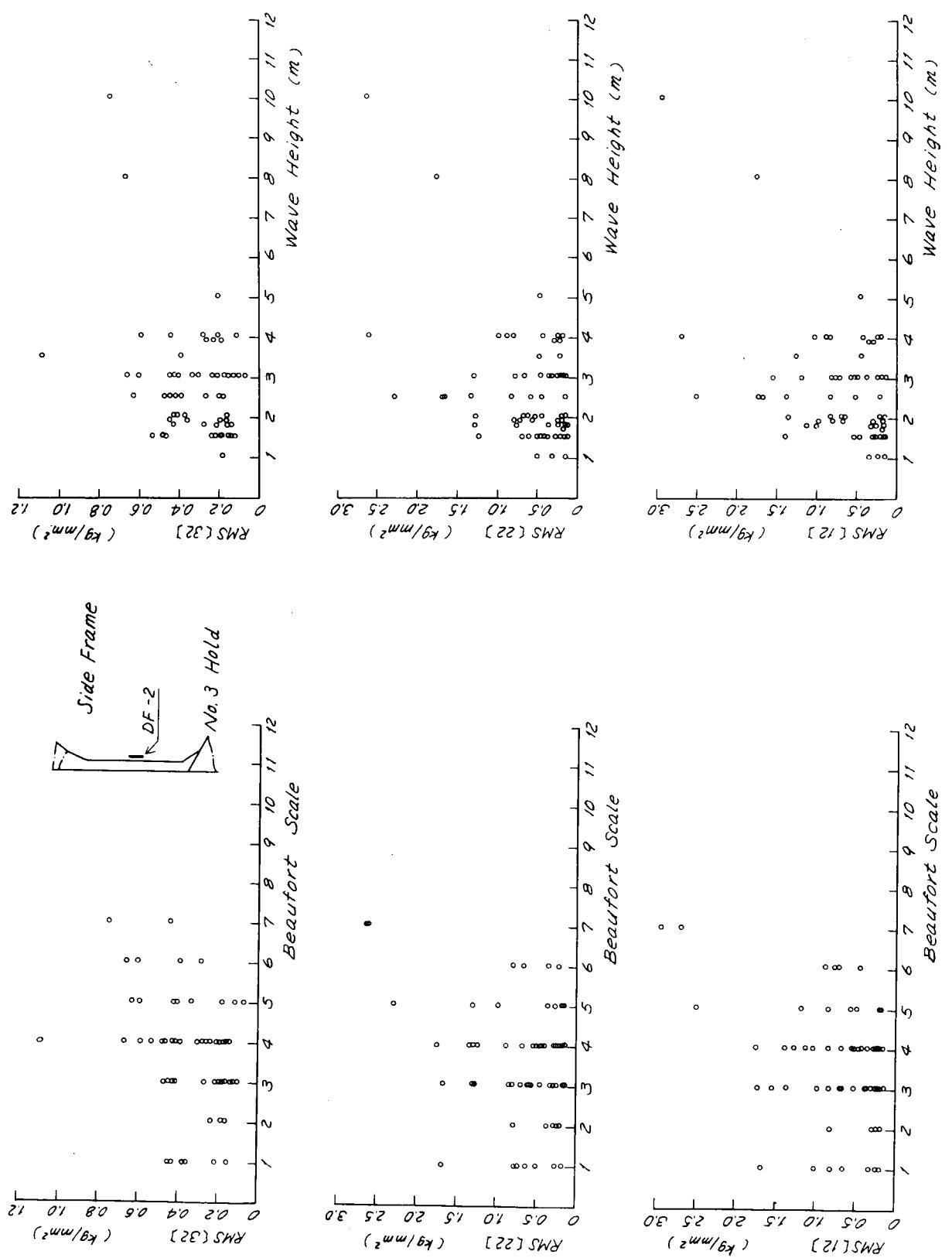


Fig. 7.1.6 Wave induced stress in side frame  
(RMS of stress range,  $2 \sqrt{E}$ ) vs. sea state (KIMI MARU)

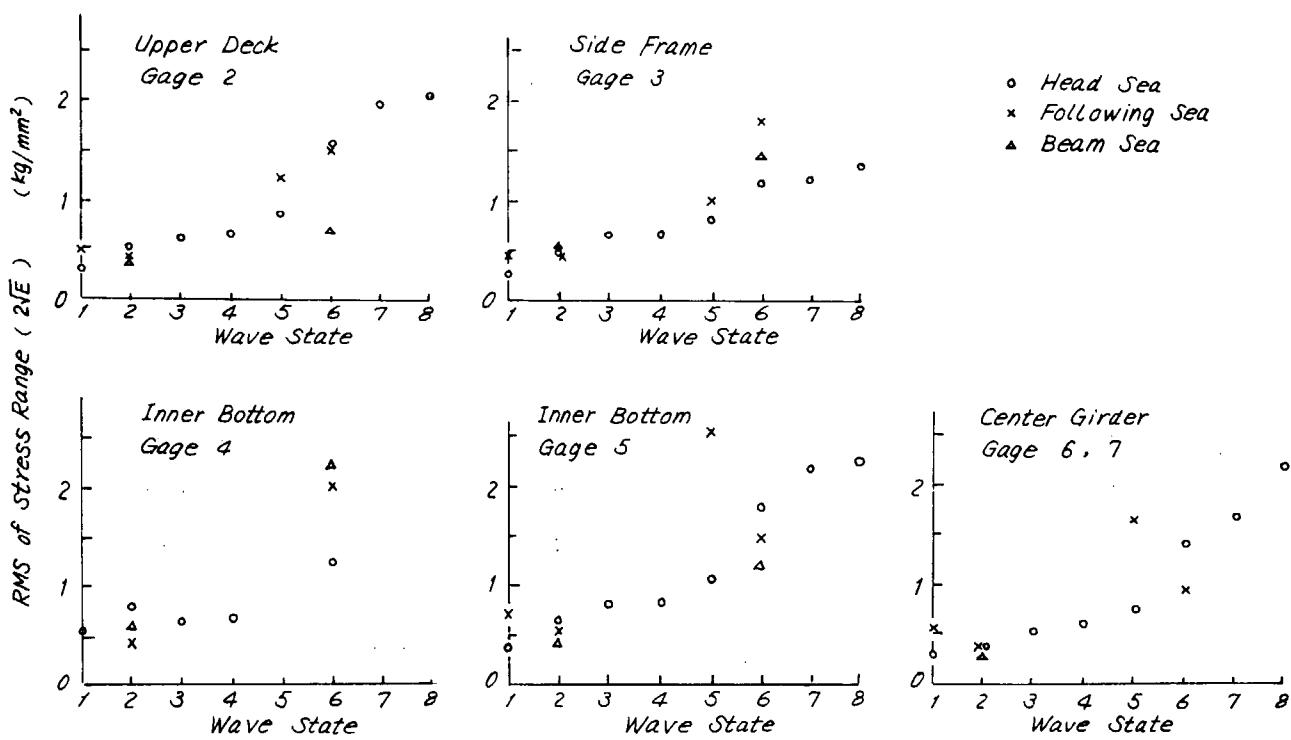


Fig. 7.1.7 RMS of transverse stresses vs. sea state  
(YAKUMOKAWA MARU)

Tab. 7. 2. 1 Measured items (KIMI MARU)

M, N	Gage No.	Item	
1	DF-2	Stress	Frame
2	DD-4	Stress	Deck
3	DC-1	Stress	Hatch Corner
4	DS-2	Stress	Side Shell
5	Roll	Angle	Rolling
6	Pitch	Angle	Pitching

Tab. 7. 2. 2 Test number (KIMI MARU)

Test No.	Date
1206	1970/6/28 (1)
1207	1970/6/28 (2)
1212	1970/6/30
1215	1970/7/1
1218	1970/7/10
1219	1970/7/11

Tab. 7. 2. 3 Sea conditions

Ship		KIMI MARU						SHOBU MARU		
Test No.		1206	1207	1212	1215	1218	1219	3024	3025	3026
Date		6/28 <sup>A</sup>	6/28 <sup>B</sup>	6/30	7/7	7/10	7/11	7/11	7/13	7/12
Time		12:30~ 12:50	12:30~ 12:50	12:30~ 12:50	12:30~ 13:10	12:30~ 12:50	12:30~ 12:50	12:45~ 13:05	13:00~ 13:20	12:40~ 13:00
Weather		Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Cloudy	Clear
Roll	Amp. (Deg.)	-	-	2	2	3	2	2	0	0
	Period (Sec.)	-	-	10	7	10	10	11	-	-
Wave*	Direction	W S.W.	S.W.	S.W.	S.W.	S.W.	S.W.	S.W.	S.W.	S.W.
	Height (m)	1.5 (0.1)	2.5 (2.0)	5.0 (1.0)	8.0 (1.0)	4.0 (2.0)	10.0 (6.0)	2.5 (1.5)	2.5 (1.5)	1.5 —
	Length (m)	30 (0.3)	50 (7)	70 (10)	190 (5)	60 (20)	180 (30)	120 (7.5)	30 (7.5)	120 —
	Period (sec)	- (1)	- (6)	- (7)	- (6)	- (6)	- (5)	- —	- —	20 —
	Wave Scale	1 (2)	4 (4)	6 (3)	7 (4)	5 (5)	7 (7)	3 —	3 —	2 —
Wind	Relative Direction and Velocity	→ 12.0	↑ 14.0	↑ 6.5	↑ 12.0	↑ 14.0	→ 10.0	→ 15.0	↑ 12.0	↑ 11.5
	Absolute Direction and Velocity	→ 5.0	↑ 8.0	↓ 6.0	↑ 6.0	↑ 12.0	→ 12.0	→ 7.5	↑ 5.2	↑ 4.5
	Beaufort Scale	3	5	4	4	6	7	4	3	3
Ship Speed (kt)		17.3	16.9	16.8	14.8	15.5	12.6	16.5	13.5	14.0
Propeller Rev. (RPM)		117.7	117.3	117.3	103.5	115.2	89.5	110.7	111.2	111.7

\* ( ) Shows Wind WAVE.

Tab. 7. 2. 4 Cross correlation coefficients (KIMI MARU)

## TEST NO. 1206

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	0.073	-17.28	-0.197
6-4	0.100	0.96	0.140
6-3	-0.303	-3.84	0.325
6-2	-0.307	0.00	-0.307
6-1	-0.175	-1.92	-0.315
5-4	0.019	-36.48	0.120
5-3	0.040	13.44	-0.189
5-2	-0.251	11.52	-0.278
5-1	-0.339	-5.76	0.346
4-3	-0.260	-0.96	-0.280
4-2	-0.444	0.00	-0.444
4-1	-0.118	-9.60	-0.414
3-2	0.823	0.00	0.823
3-1	-0.334	0.96	-0.391
2-1	-0.271	0.96	-0.302

## TEST NO. 1207

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	0.117	-6.72	-0.300
6-4	0.067	-2.88	-0.256
6-3	0.087	4.80	0.325
6-2	-0.047	5.76	0.370
6-1	-0.049	14.40	-0.263
5-4	-0.114	4.80	0.154
5-3	-0.112	2.88	-0.240
5-2	-0.383	0.00	-0.383
5-1	0.159	-0.96	0.175
4-3	-0.275	0.00	-0.275
4-2	-0.231	0.00	-0.231
4-1	0.163	-6.72	0.245
3-2	0.764	0.00	0.764
3-1	-0.268	22.08	-0.350
2-1	-0.424	0.00	-0.424

## TEST NO. 1212

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	0.228	-17.28	-0.236
6-4	0.220	2.88	0.474
6-3	0.163	3.84	-0.564
6-2	-0.078	-2.88	0.478
6-1	-0.087	3.84	-0.216
5-4	-0.073	26.88	0.178
5-3	0.146	-0.96	0.165
5-2	-0.076	-4.80	0.194
5-1	0.113	4.80	-0.208
4-3	-0.488	1.92	-0.730
4-2	-0.658	0.96	-0.714
4-1	-0.280	6.72	0.412
3-2	0.807	-0.96	0.875
3-1	0.180	-2.88	0.433
2-1	0.198	6.72	-0.363

## TEST NO. 1215

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	0.062	-33.60	-0.150
6-4	0.836	3.84	-0.877
6-3	-0.710	3.84	0.871
6-2	-0.771	8.64	-0.873
6-1	0.691	-0.96	0.786
5-4	0.148	-16.32	-0.210
5-3	0.077	47.04	-0.166
5-2	0.040	37.44	-0.124
5-1	0.252	-0.96	0.289
4-3	-0.875	0.00	-0.875
4-2	-0.890	0.00	-0.890
4-1	0.675	-4.80	-0.865
3-2	0.903	0.00	0.903
3-1	-0.561	-9.60	-0.791
2-1	-0.504	-9.60	-0.839

## TEST NO. 1218

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	0.172	-1.92	0.275
6-4	0.509	0.00	0.509
6-3	0.111	2.88	-0.549
6-2	0.075	-1.92	0.463
6-1	0.311	-3.84	-0.385
5-4	0.425	-26.88	-0.460
5-3	0.482	0.00	0.482
5-2	0.154	72.00	0.214
5-1	0.023	-17.28	-0.357
4-3	0.079	23.04	0.332
4-2	-0.287	0.96	-0.518
4-1	0.411	4.80	-0.450
3-2	0.310	-3.84	-0.456
3-1	-0.314	7.68	-0.420
2-1	-0.153	-5.76	-0.162

## TEST NO. 1219

M-N	R <sub>t=0</sub>	Tm	Rmax.
6-5	-0.066	-12.48	0.231
6-4	0.642	3.84	-0.721
6-3	-0.618	3.84	0.678
6-2	-0.472	3.84	0.538
6-1	0.074	1.92	-0.598
5-4	0.278	5.76	-0.338
5-3	-0.041	-2.88	0.207
5-2	-0.098	-17.28	-0.196
5-1	0.373	0.00	0.373
4-3	-0.764	0.00	-0.764
4-2	-0.757	0.00	-0.767
4-1	0.323	-5.76	-0.725
3-2	0.637	0.00	0.637
3-1	-0.186	-6.72	0.734
2-1	-0.336	-9.60	-0.517

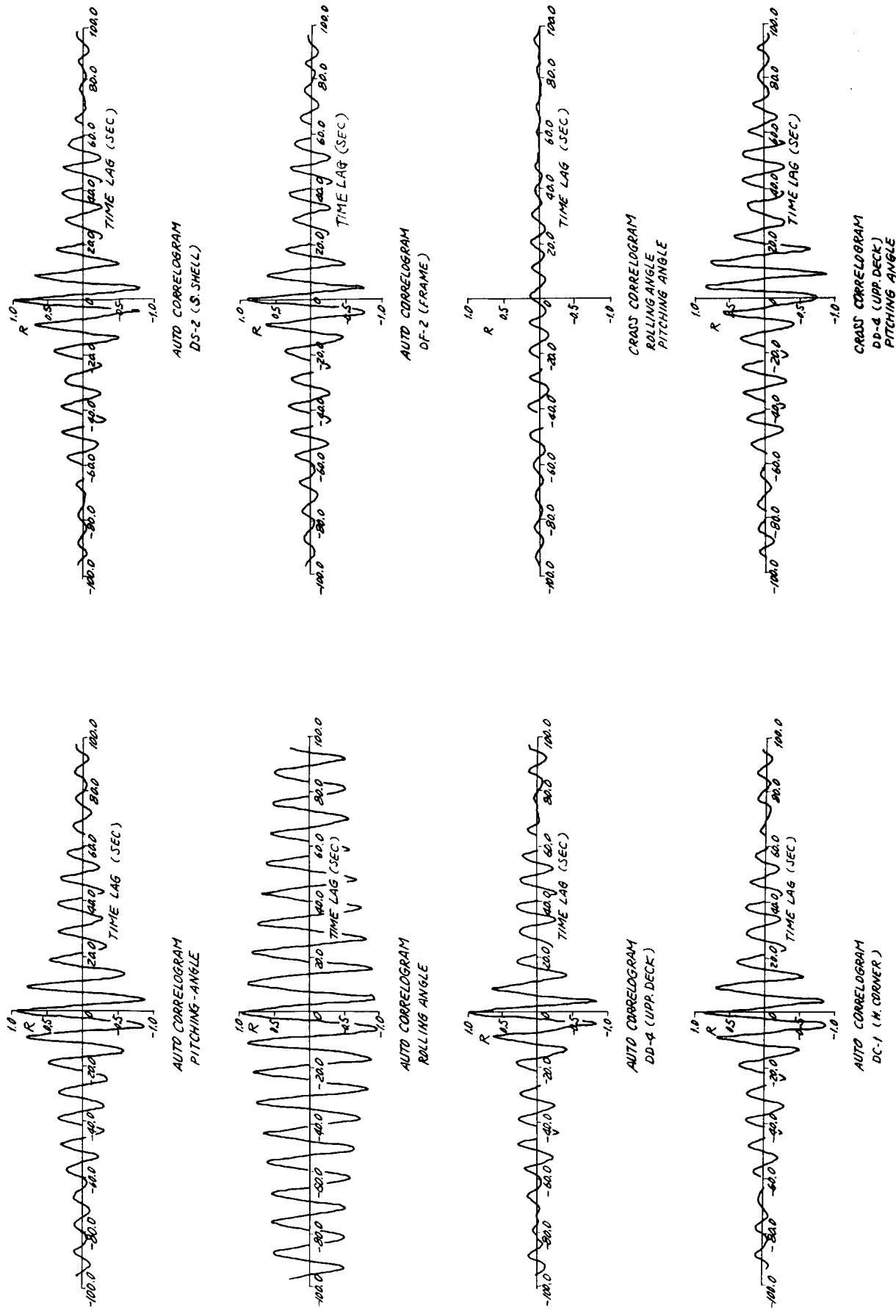


Fig. 7.2.1 Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-1)

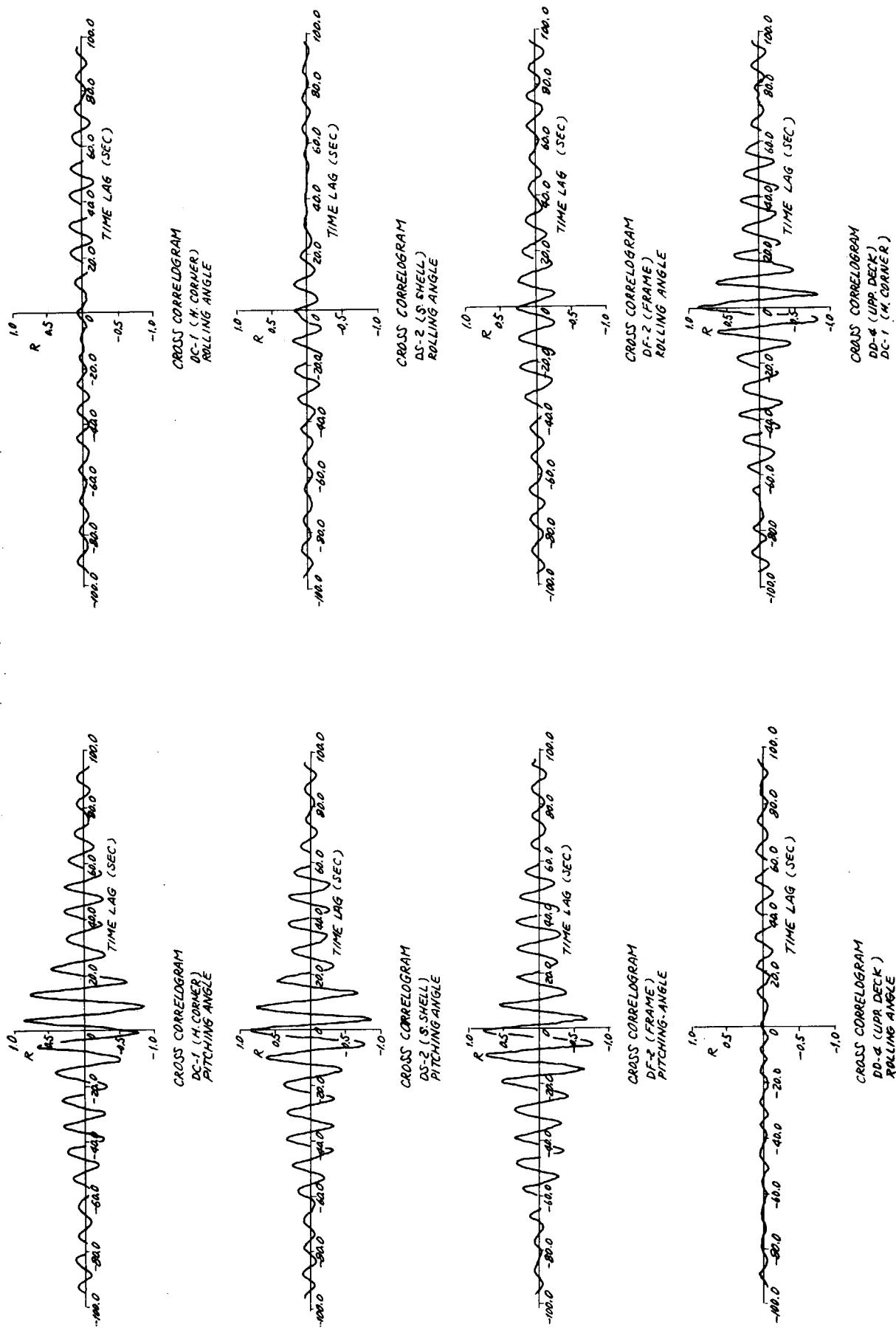


Fig. 7.2.2 Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-2)

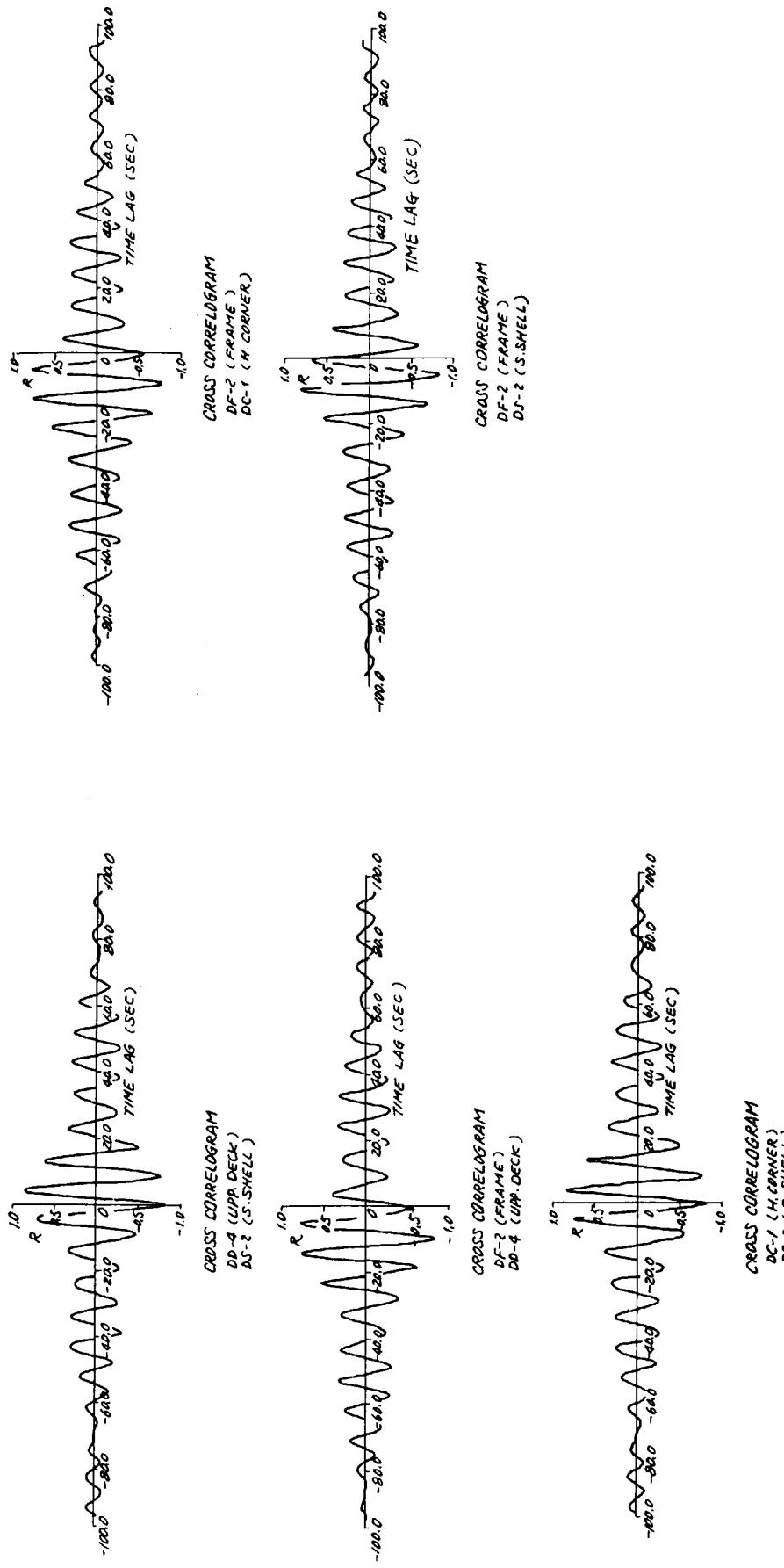


Fig. 7.2.3 Correlogram (KIMI MARU, Test No. 1215-3)

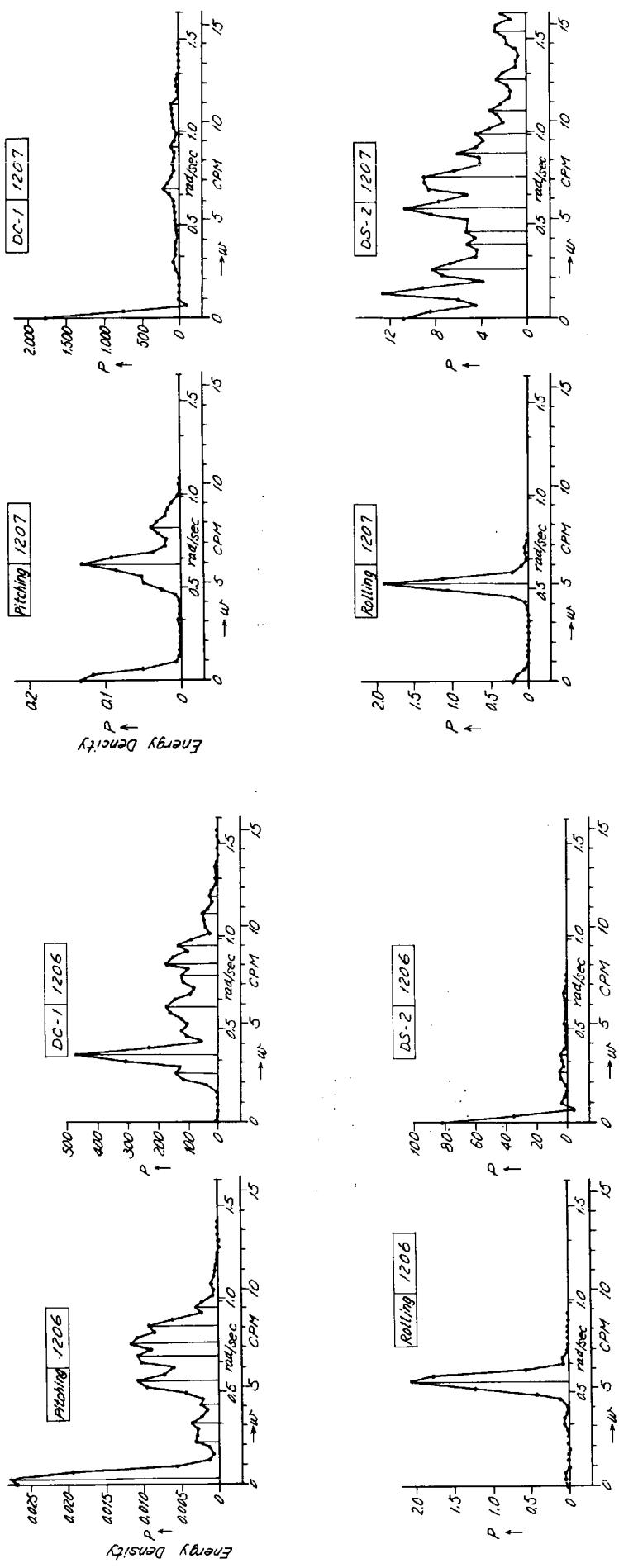


Fig. 7.2.4 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1206)

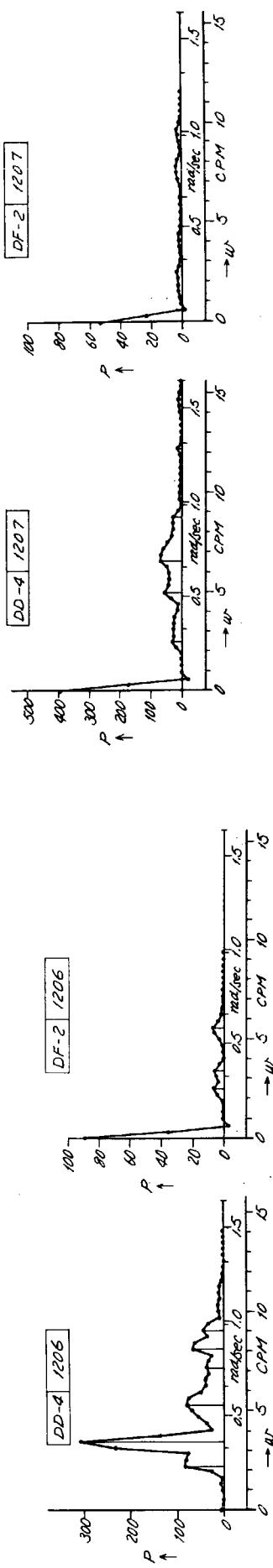


Fig. 7.2.5 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1207)

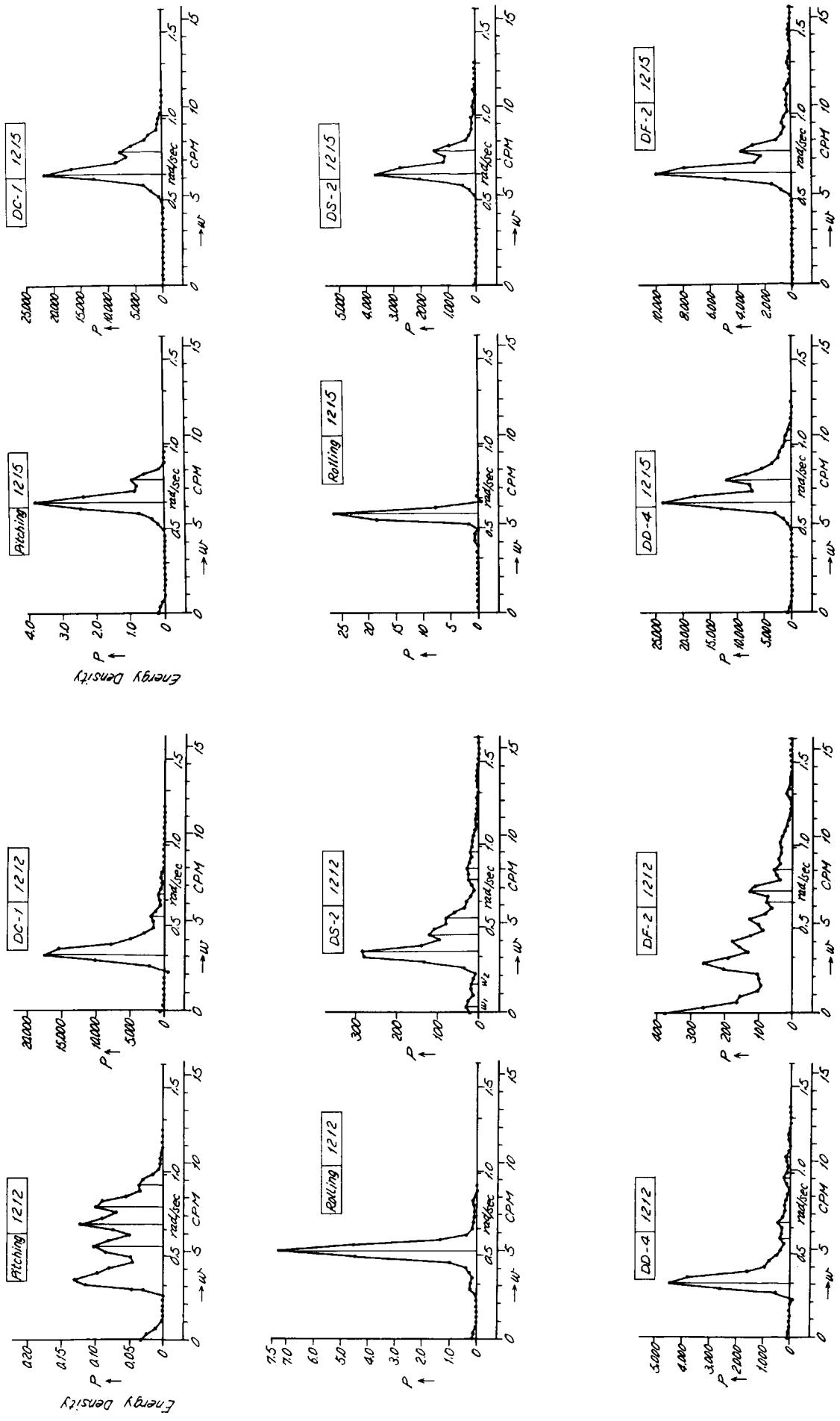


Fig. 7.2.6 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1212)

Fig. 7.2.7 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1215)

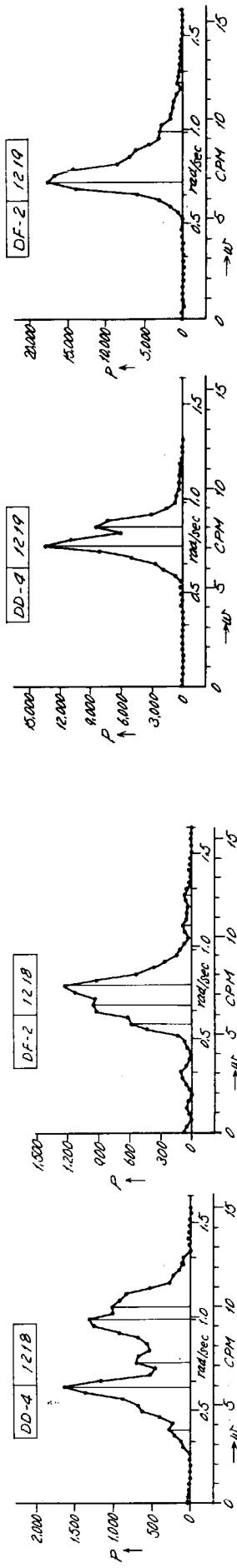
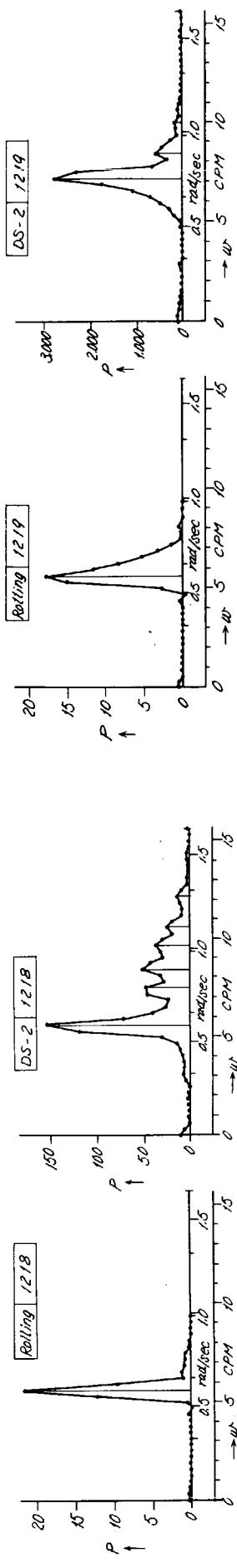
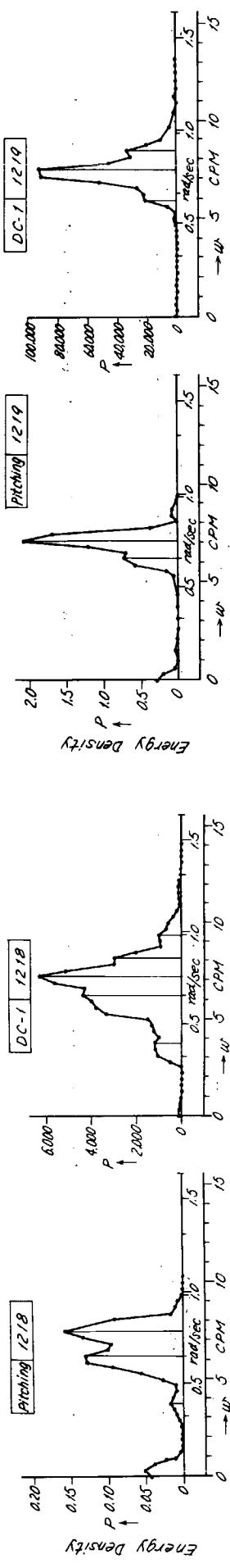


Fig. 7.2.8 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1218)

Fig. 7.2.9 Energy Spectra (KIMI MARU, Test No. 1219)

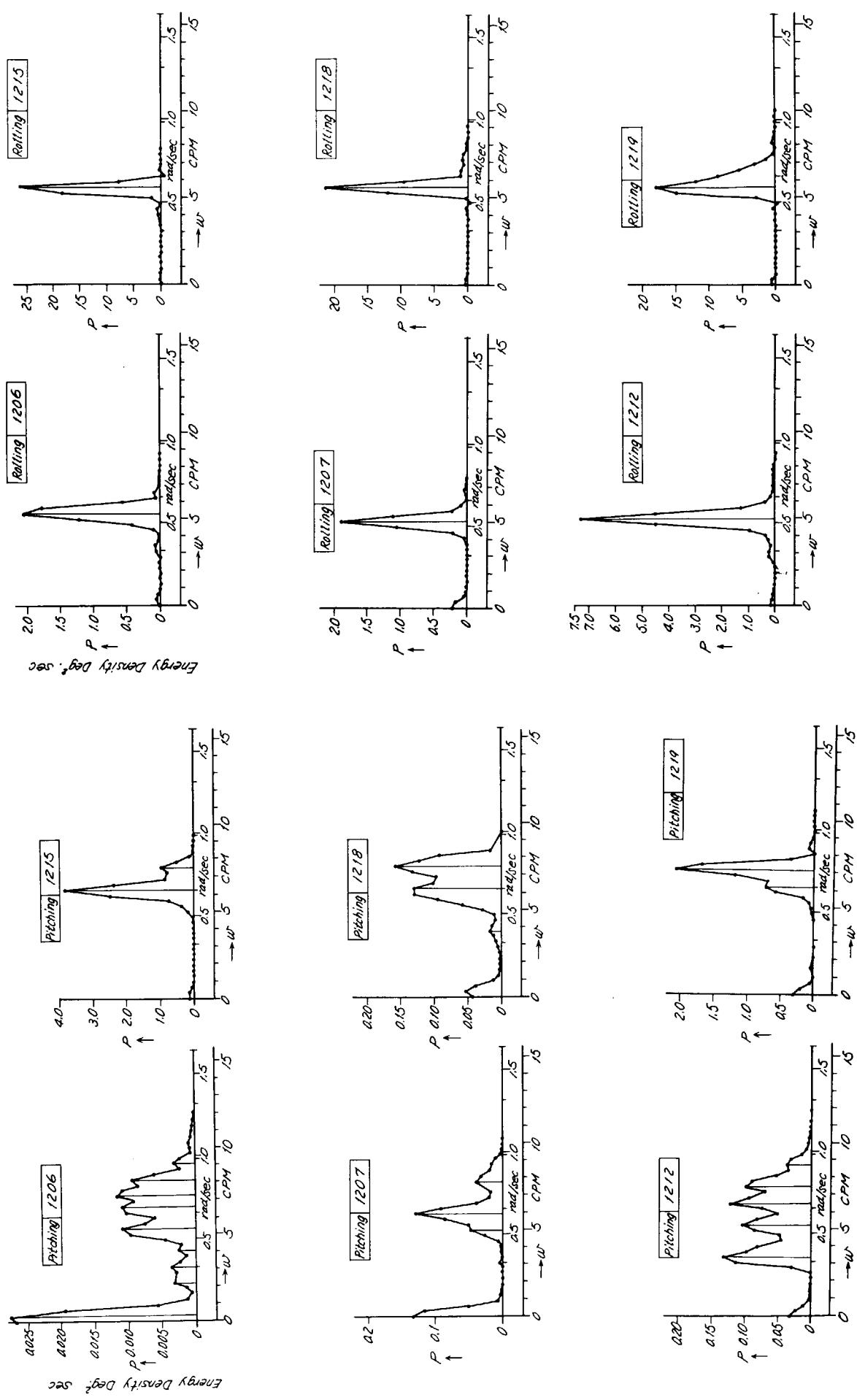


Fig. 7.2.11 Energy Spectra (KIMI MARU, Rolling)

Fig. 7.2.10 Energy Spectra (KIMI MARU, Pitching)

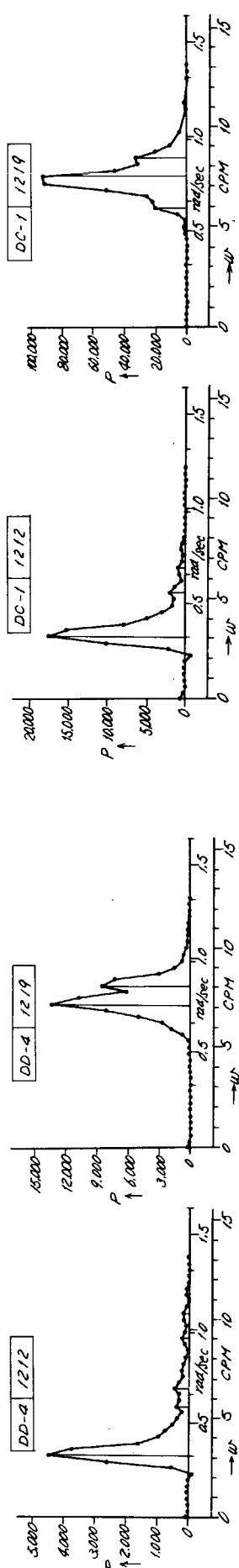
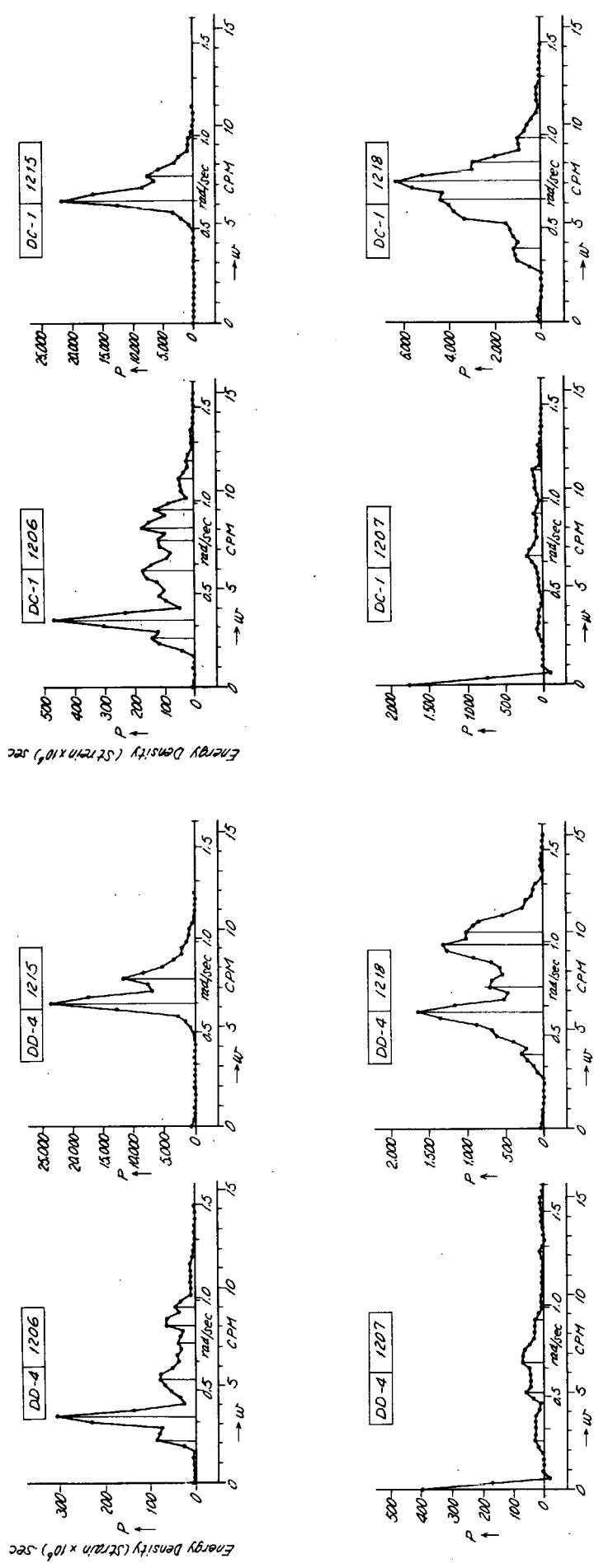


Fig. 7.2.12 Energy Spectra (KIMI MARU, DD-4)

Fig. 7.2.13 Energy Spectra (KIMI MARU, DC-1)

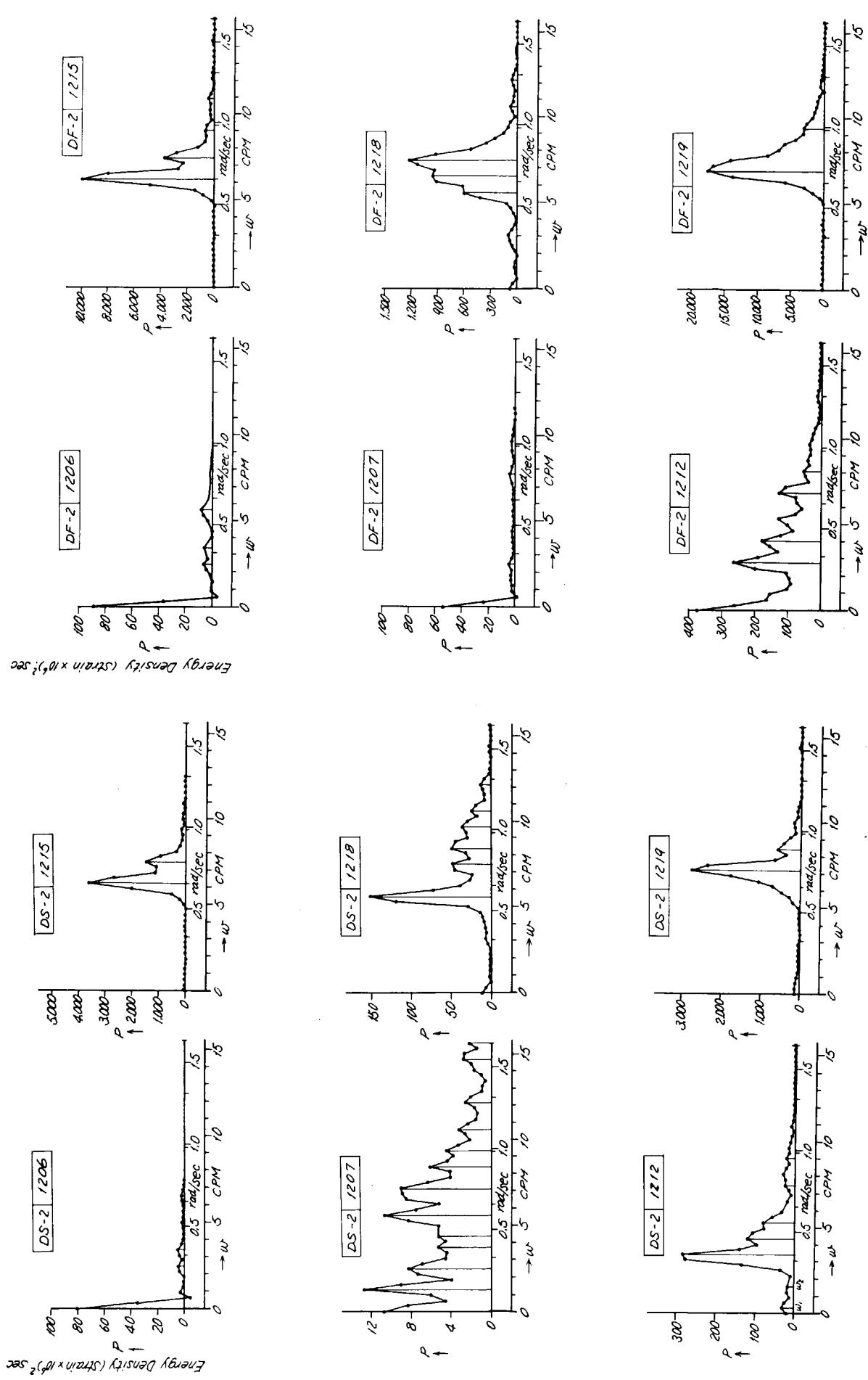


Fig. 7.2.14 Energy Spectra (KIMI MARU, DS-2)

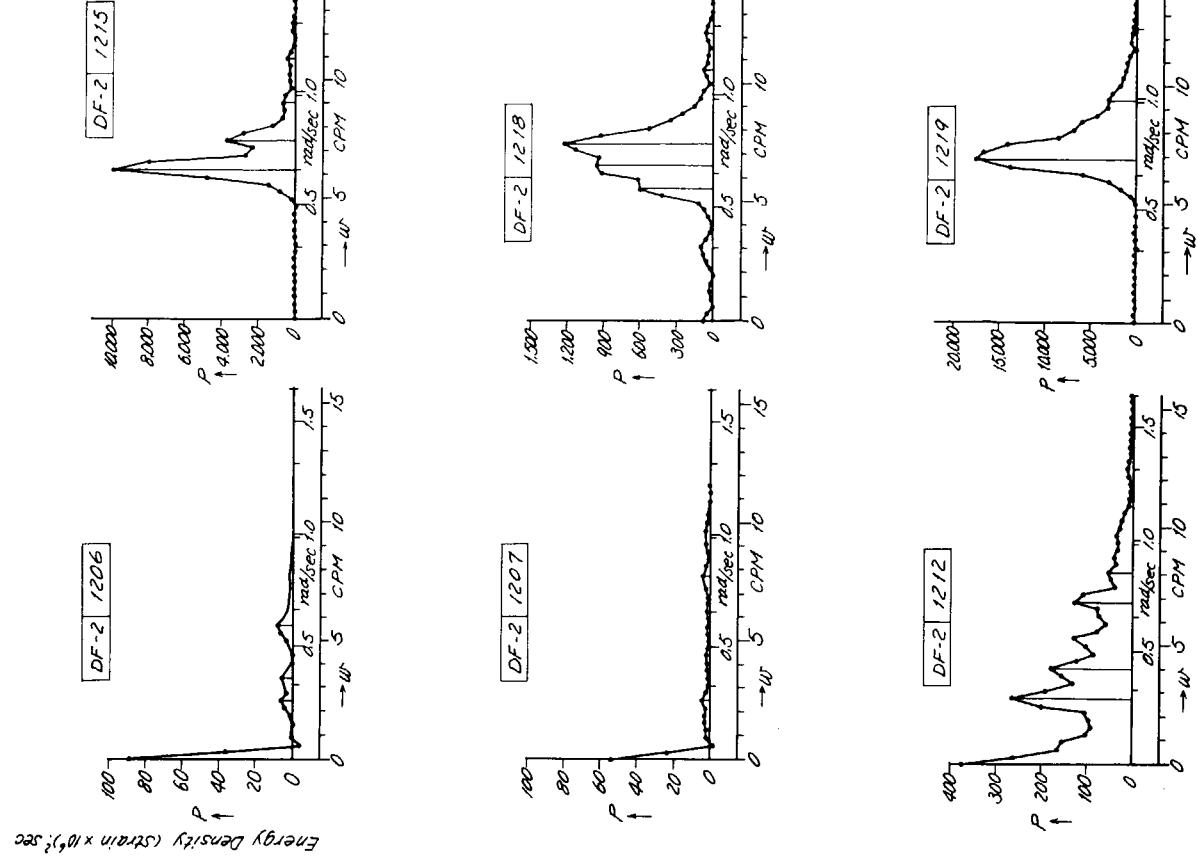


Fig. 7.2.15 Energy Spectra (KIMI MARU, DF-2)

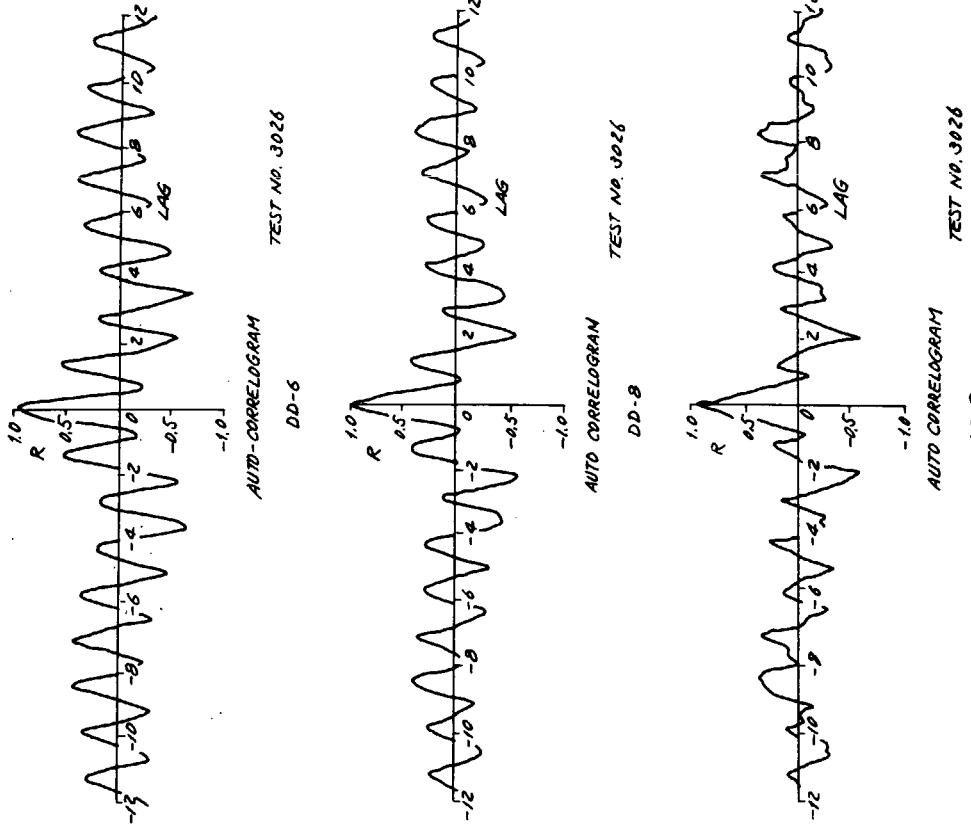
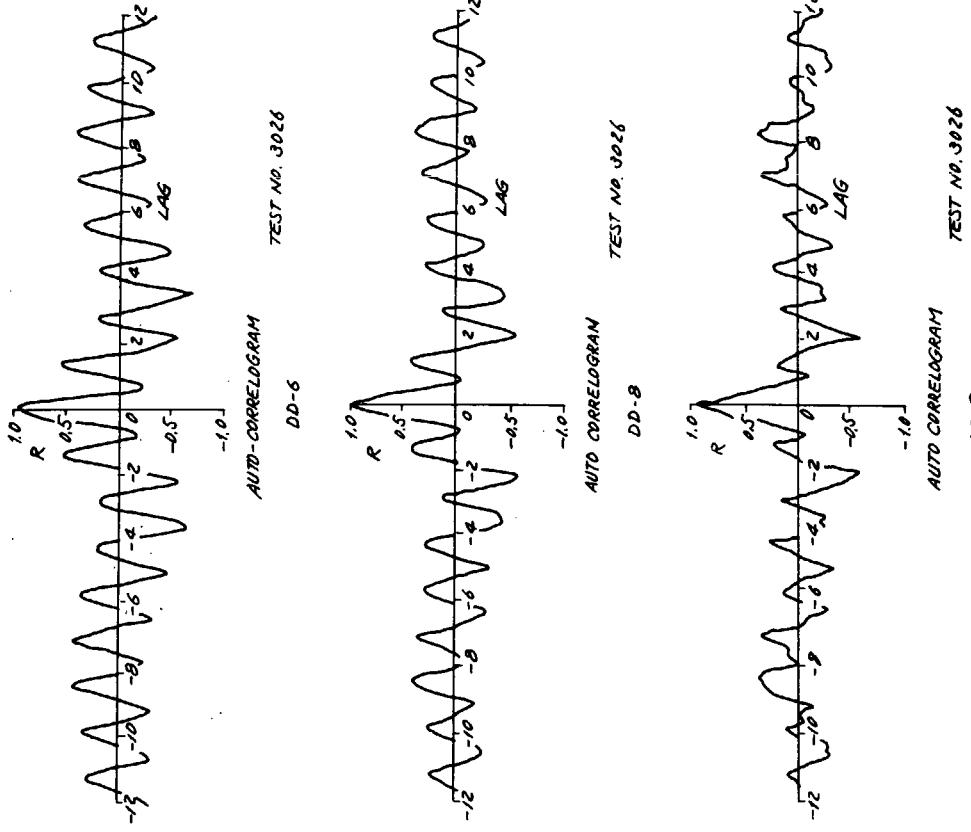
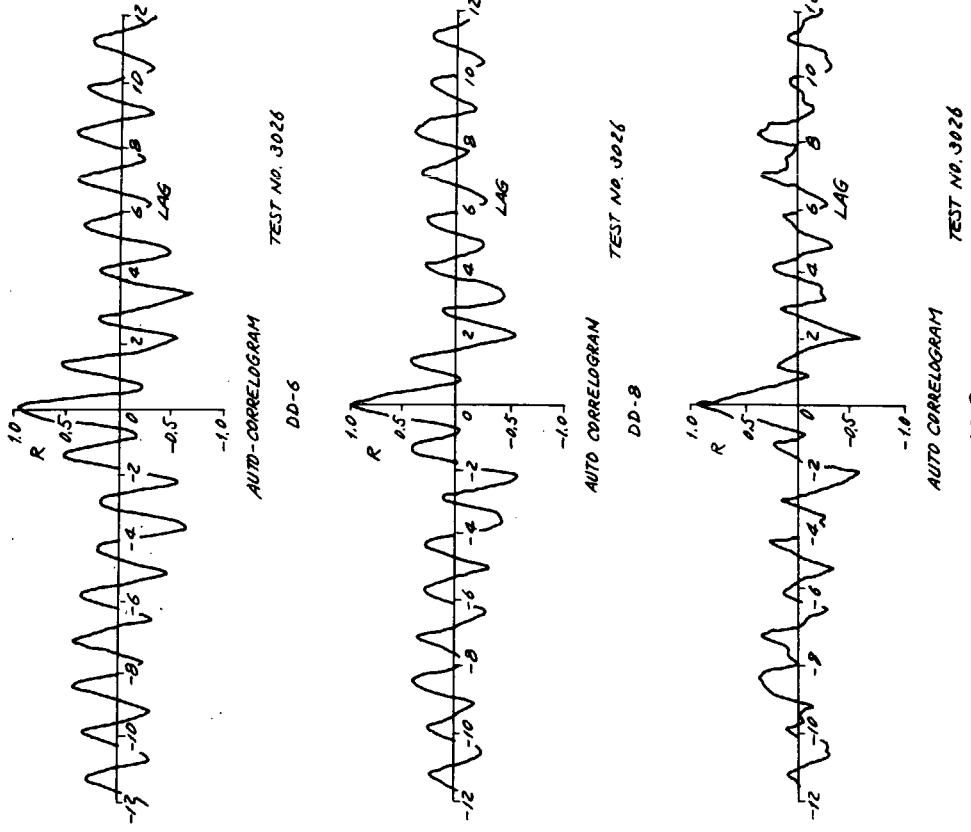
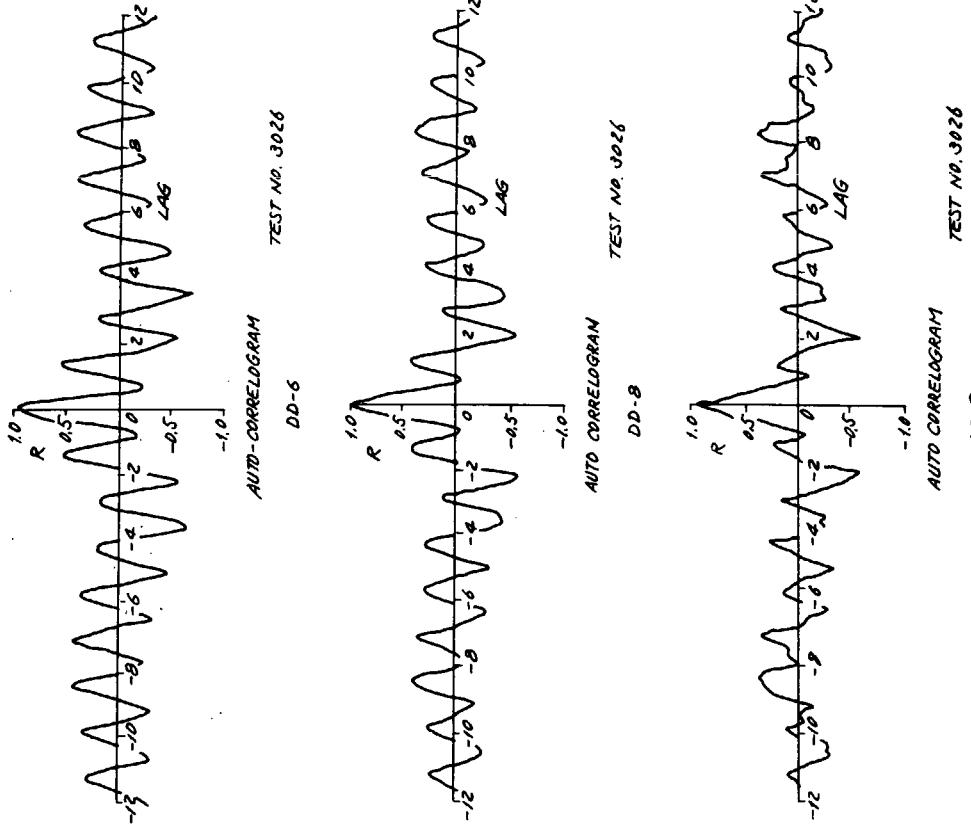
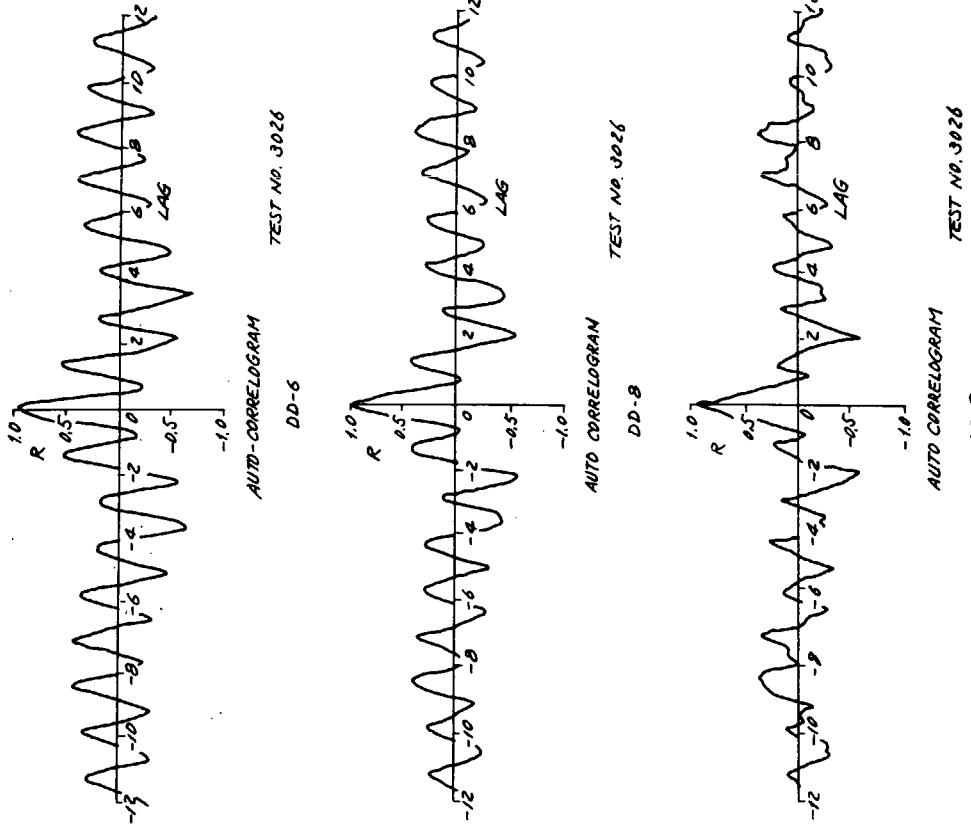
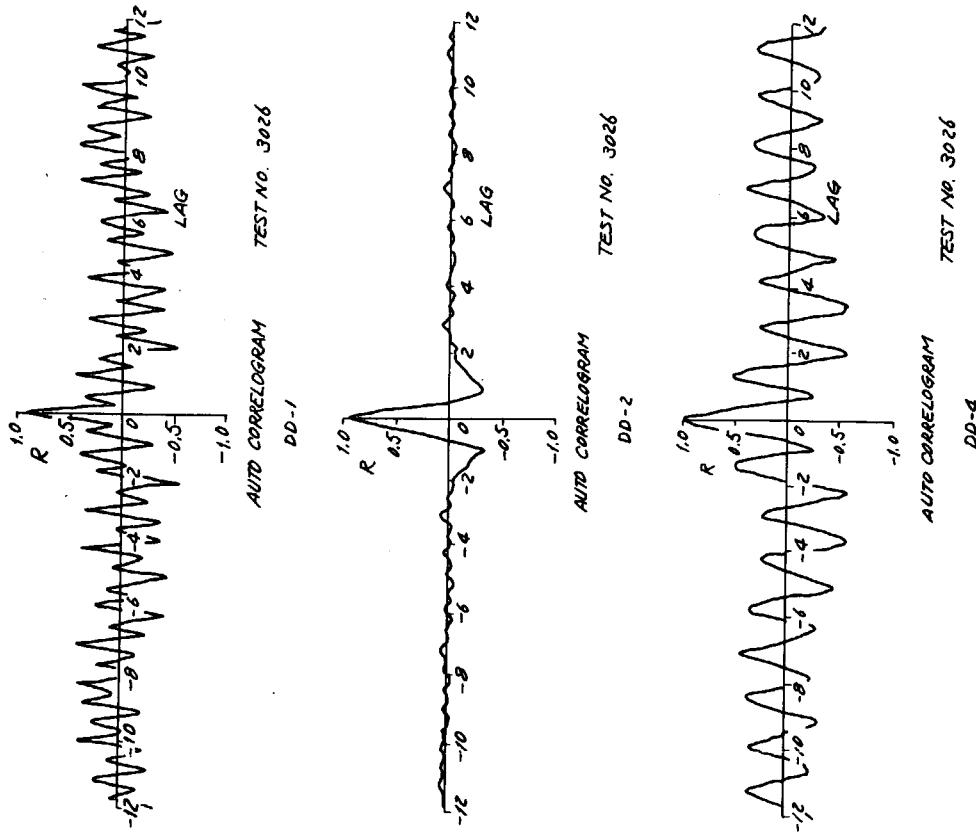


Fig. 7. 2. 16 Auto correlograms (SHOBU MARU, Test No. 3026-1)

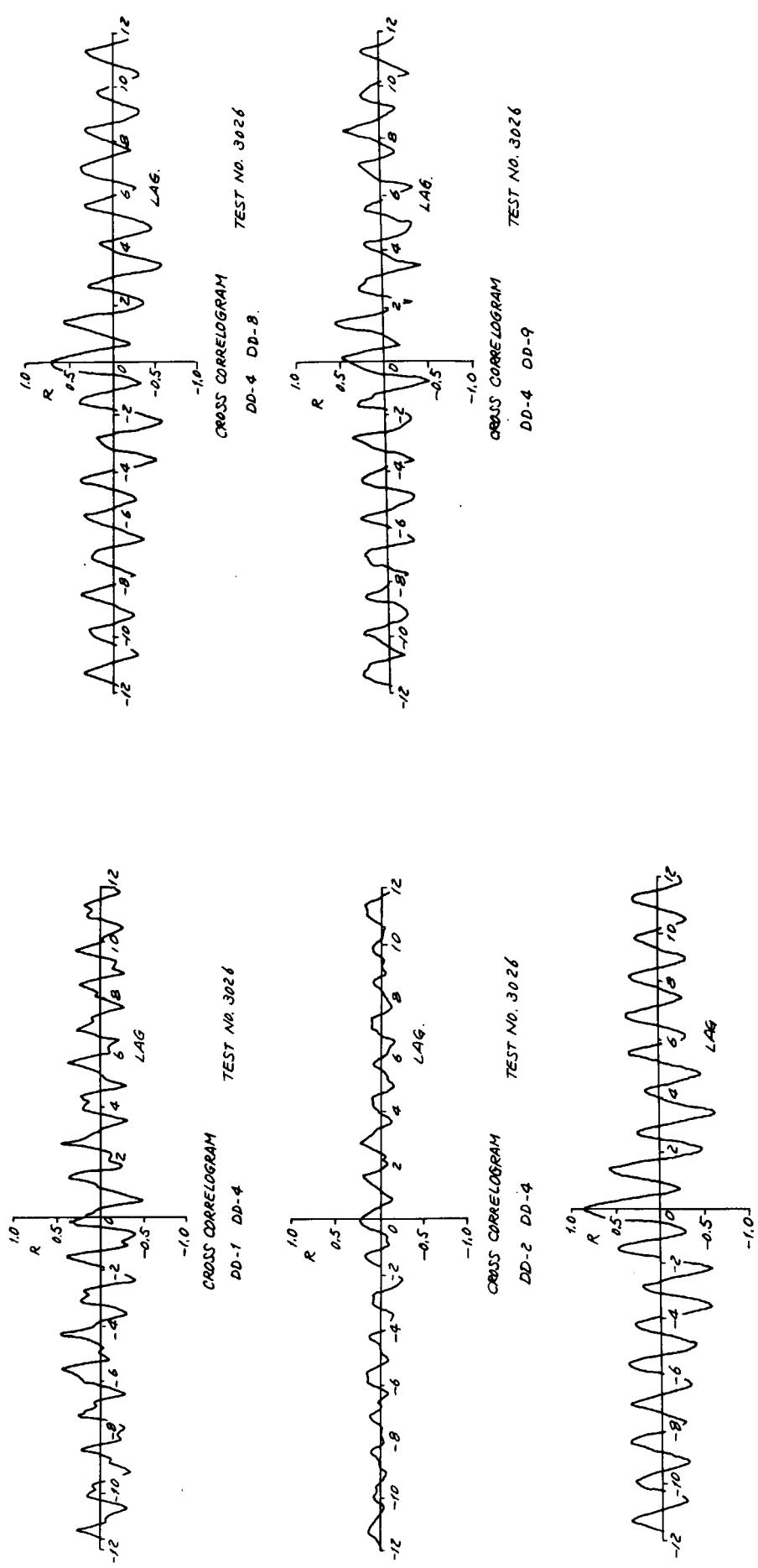


Fig. 7.2.17 Cross correlograms (SHOBU MARU, Test No. 3026-2)

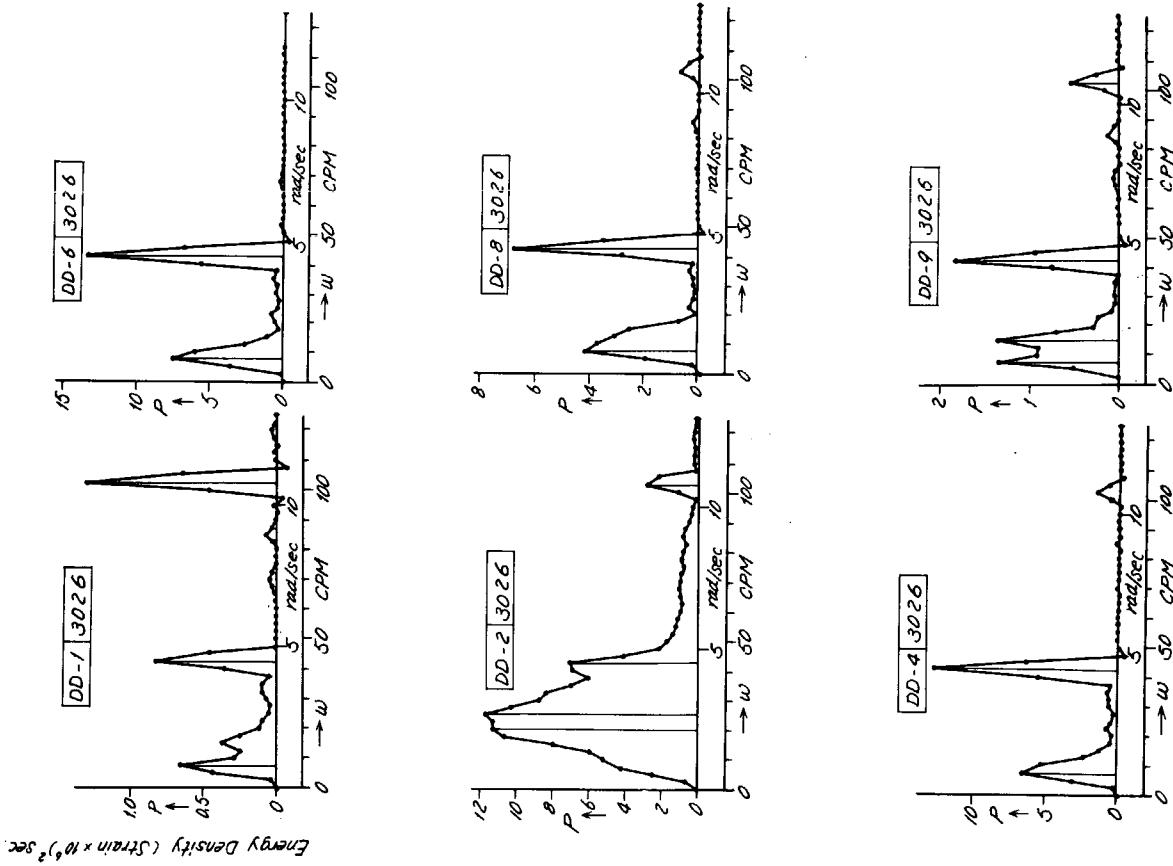


Fig. 7.2.18 Energy Spectra (SHOBU MARU, Test No. 3026)

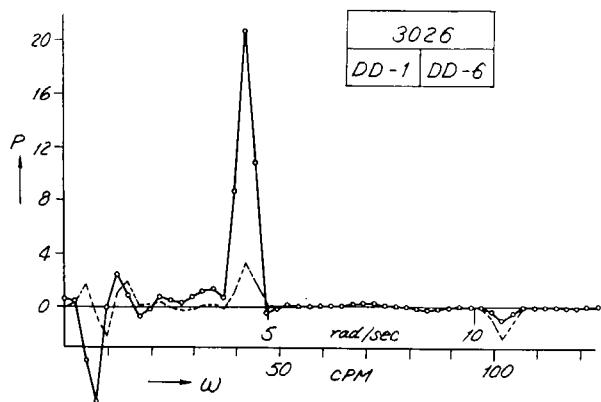
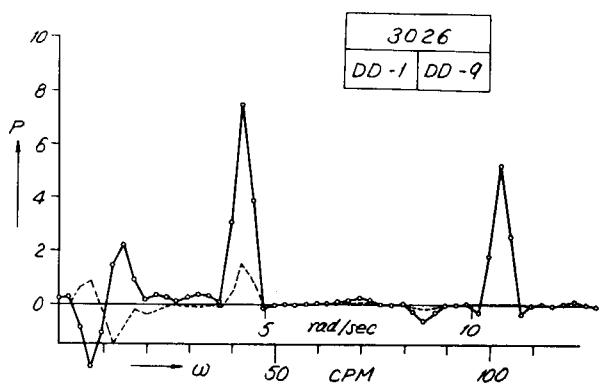
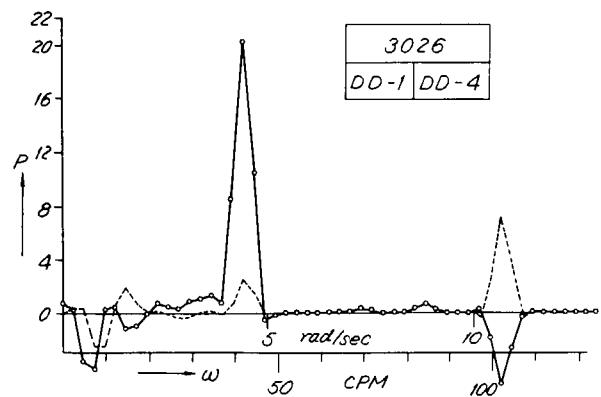
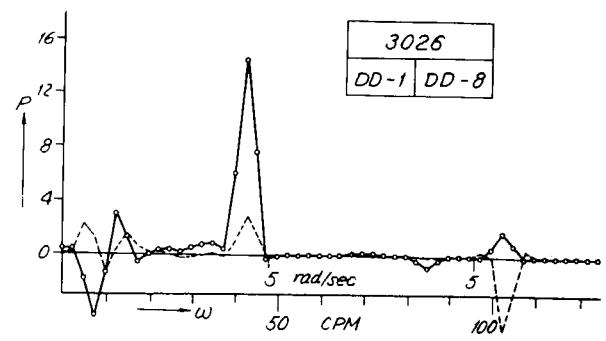
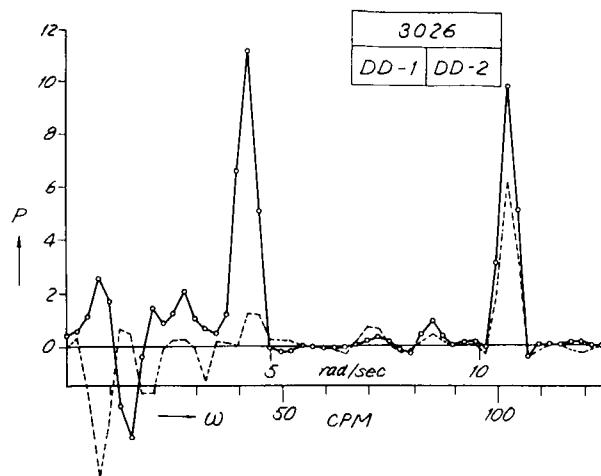


Fig. 7.2.19 Cross Spectra (SHOBU MARU, Test No. 3026)

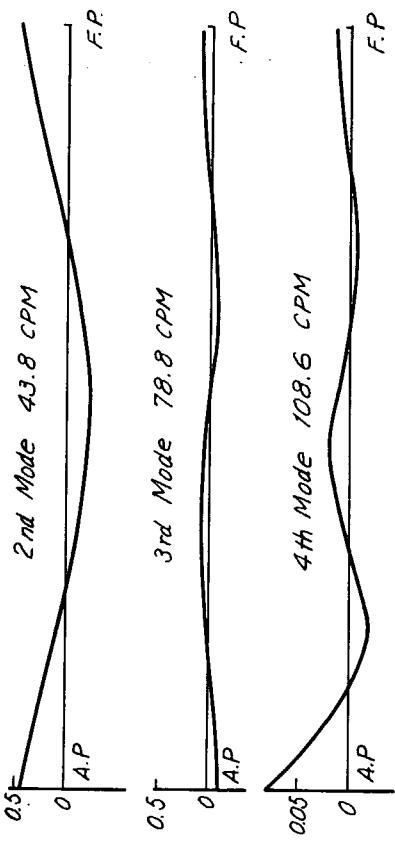


Fig. 7.2.20 Calculated frequencies of vertical vibrations of SHOBU MARRU

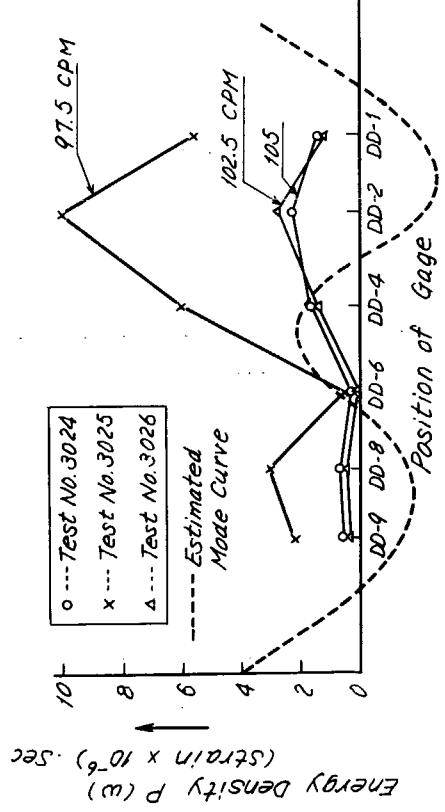


Fig. 7.2.21 Longitudinal distributions of energy density (2nd Mode Vib.)

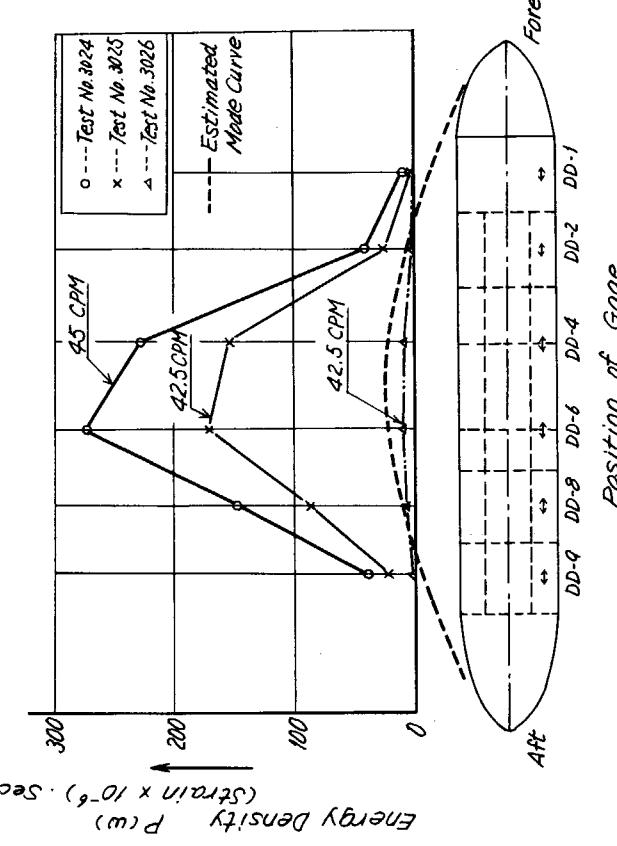


Fig. 7.2.22 Longitudinal distributions of energy density (4th Mode Vib.)

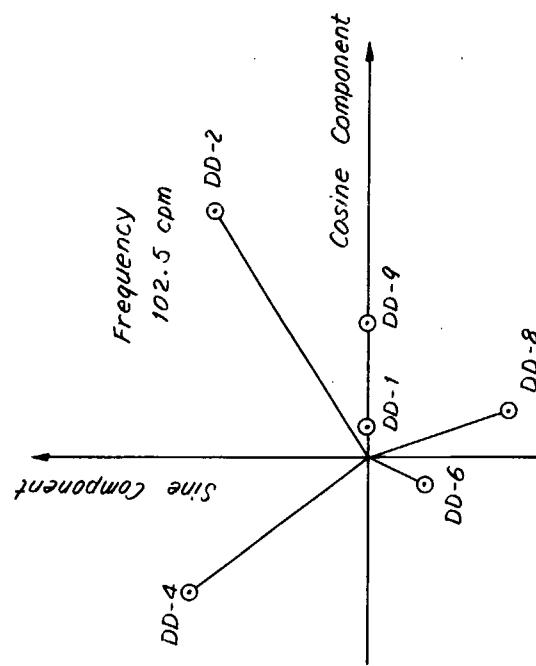


Fig. 7.2.23 Relations of phase lags in 4th mode vibration

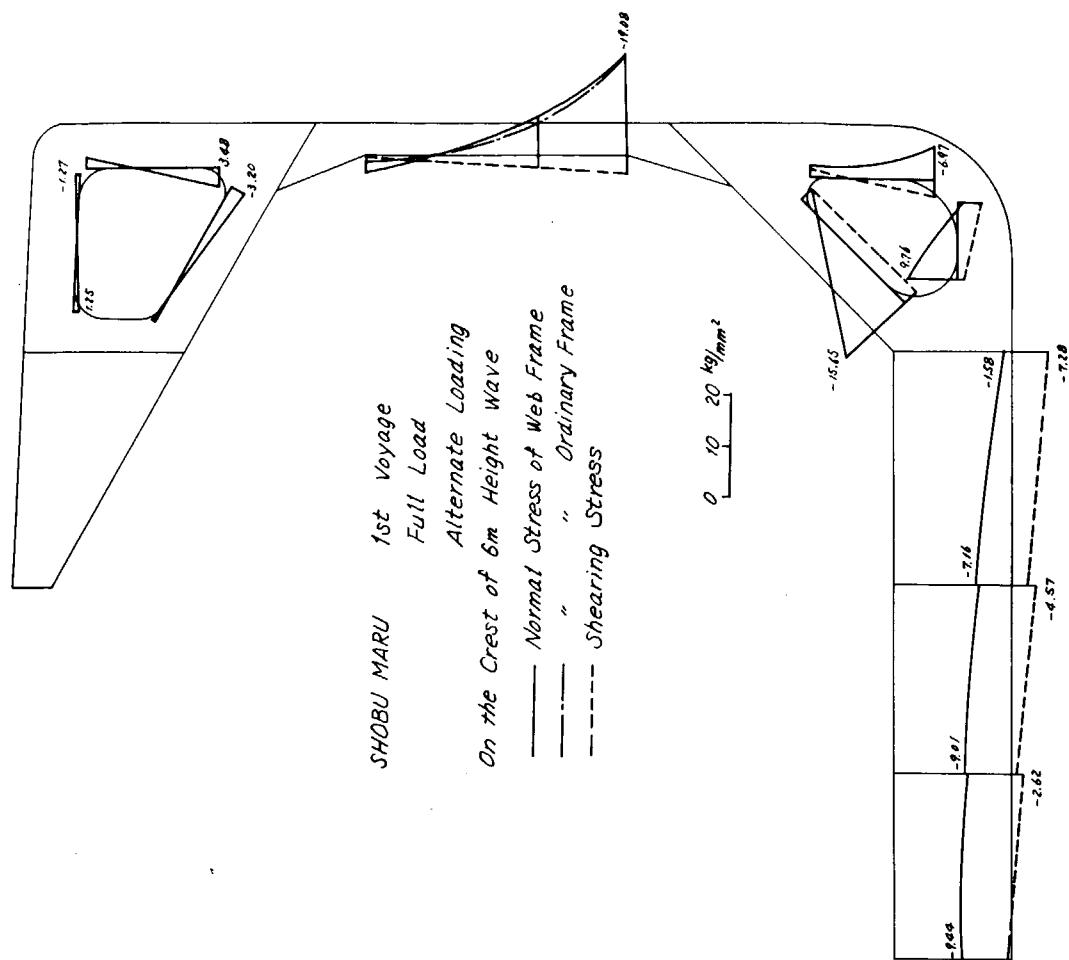
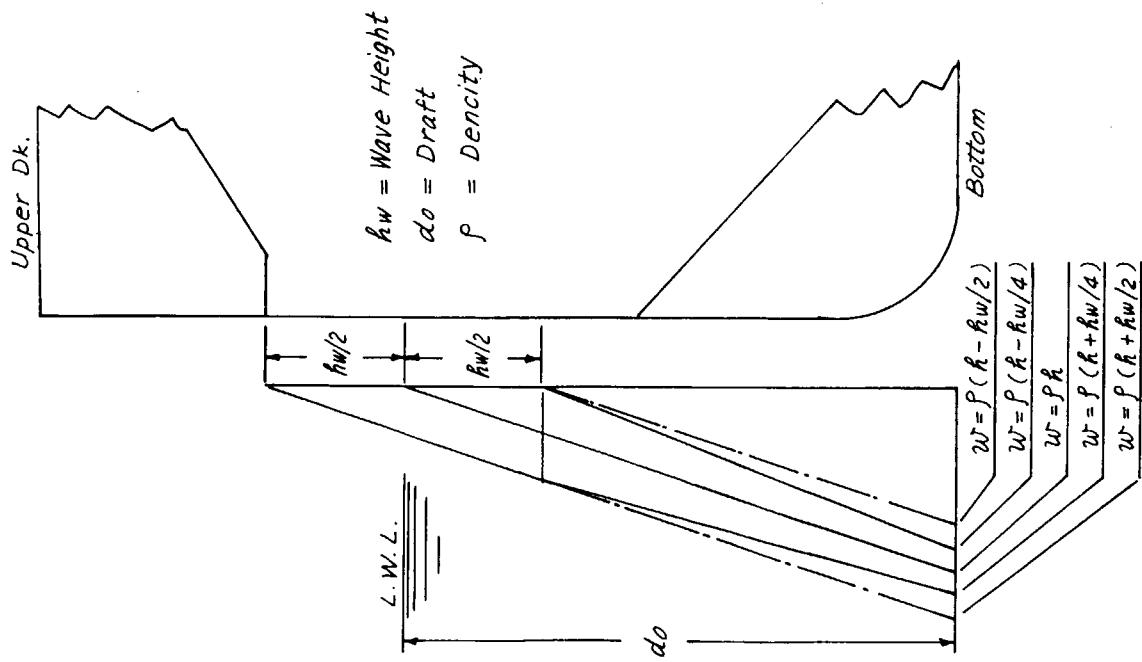
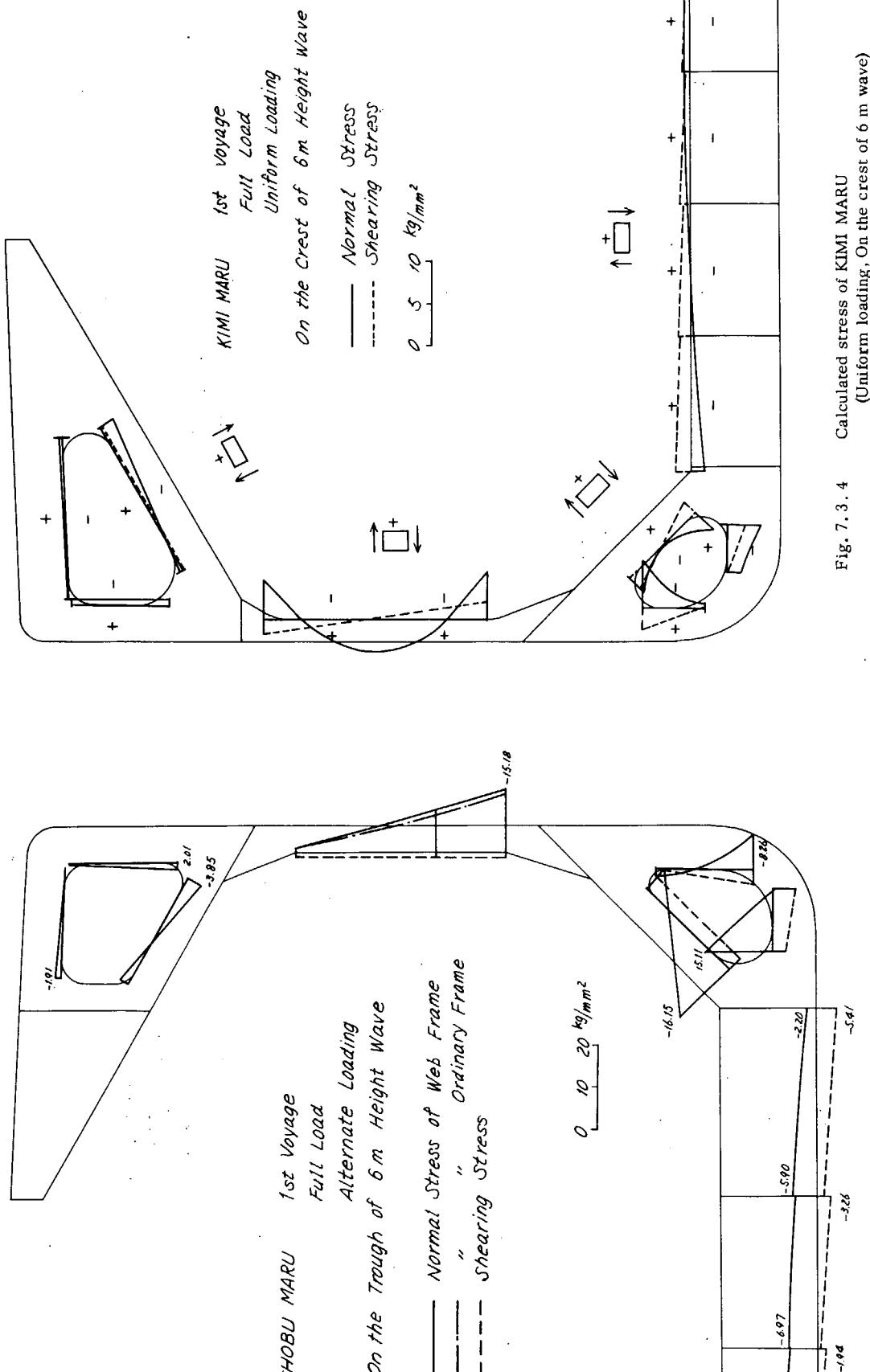


Fig. 7.3.2 Calculated stress of SHOBU MARU  
(Alternate loading, On the crest of 6 m wave)

Fig. 7.3.1 Pressure distribution induced by wave



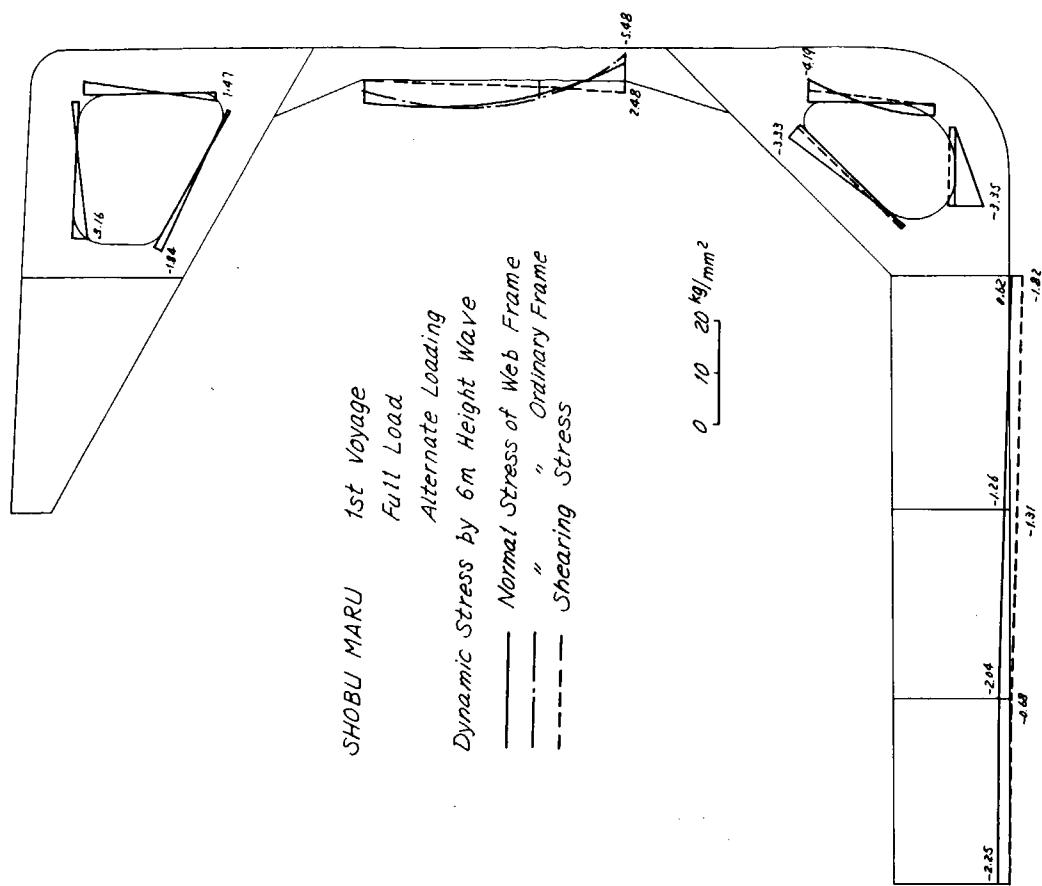


Fig. 7.3.6 Calculated dynamic stress induced by 6 m height wave  
(SHOBU MARU, Alternate loading)

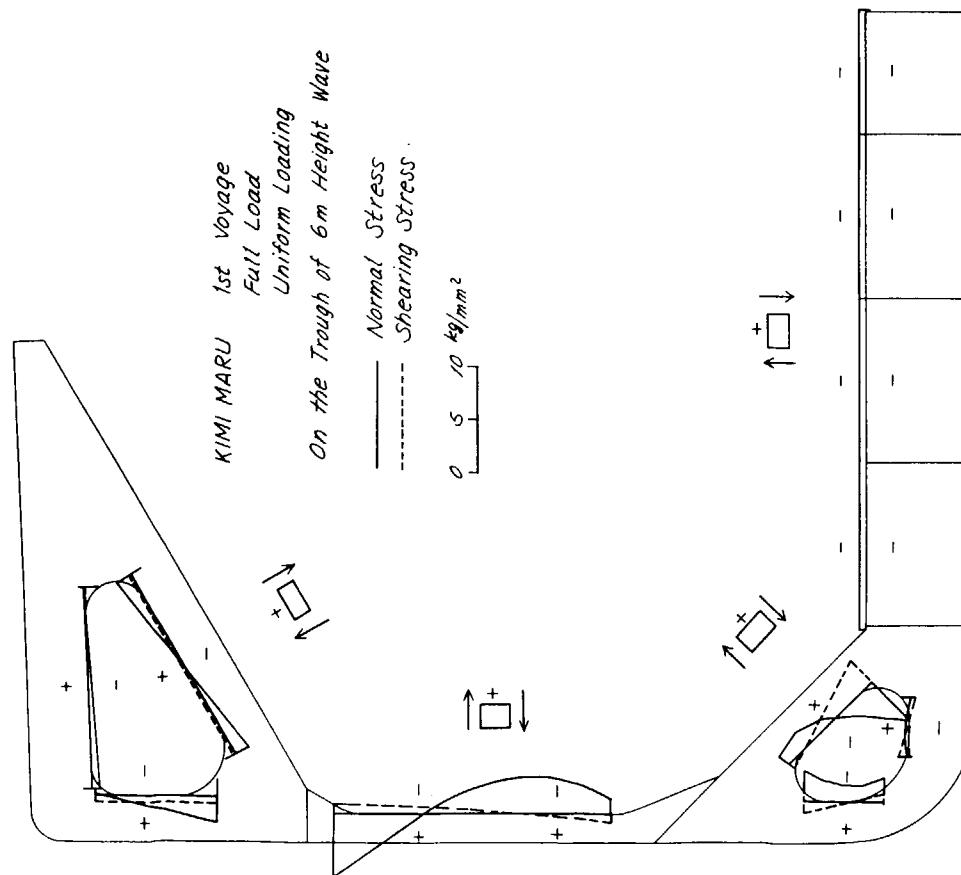


Fig. 7.3.5 Calculated stress of KIMI MARU  
(Uniform loading, On the trough of 6 m wave)

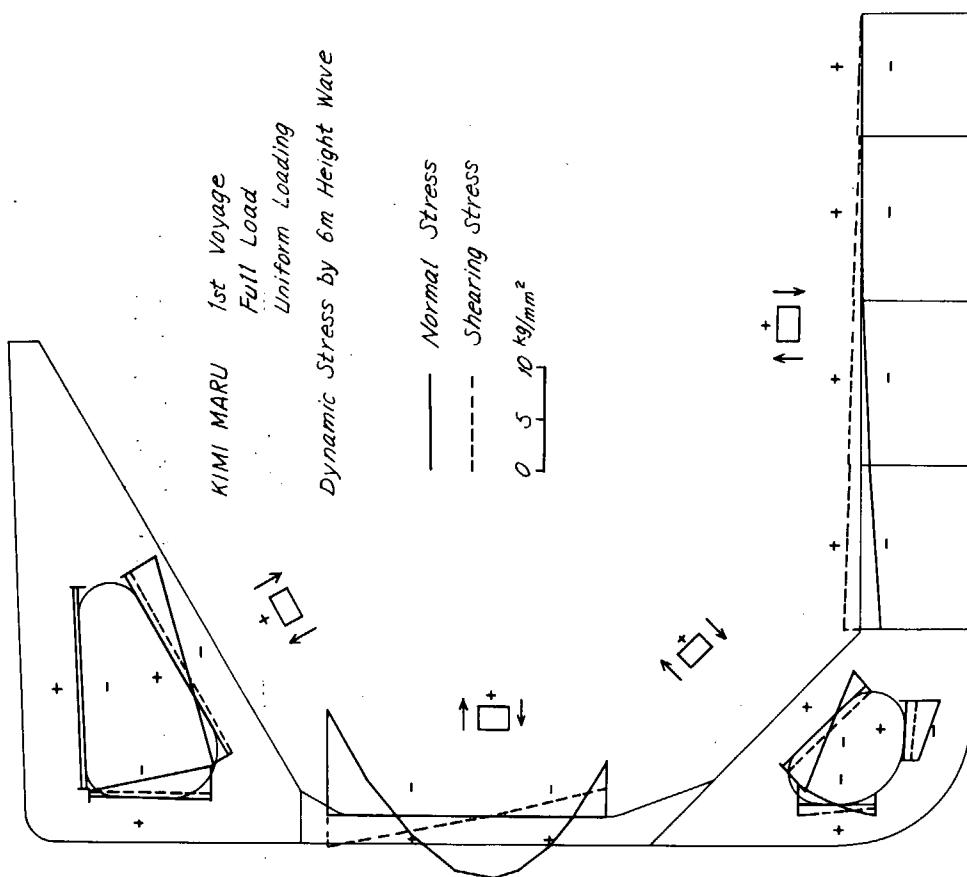


Fig. 7.3.8 Calculated dynamic stress induced by 6 m height wave (KIMI MARU, Uniform loading)

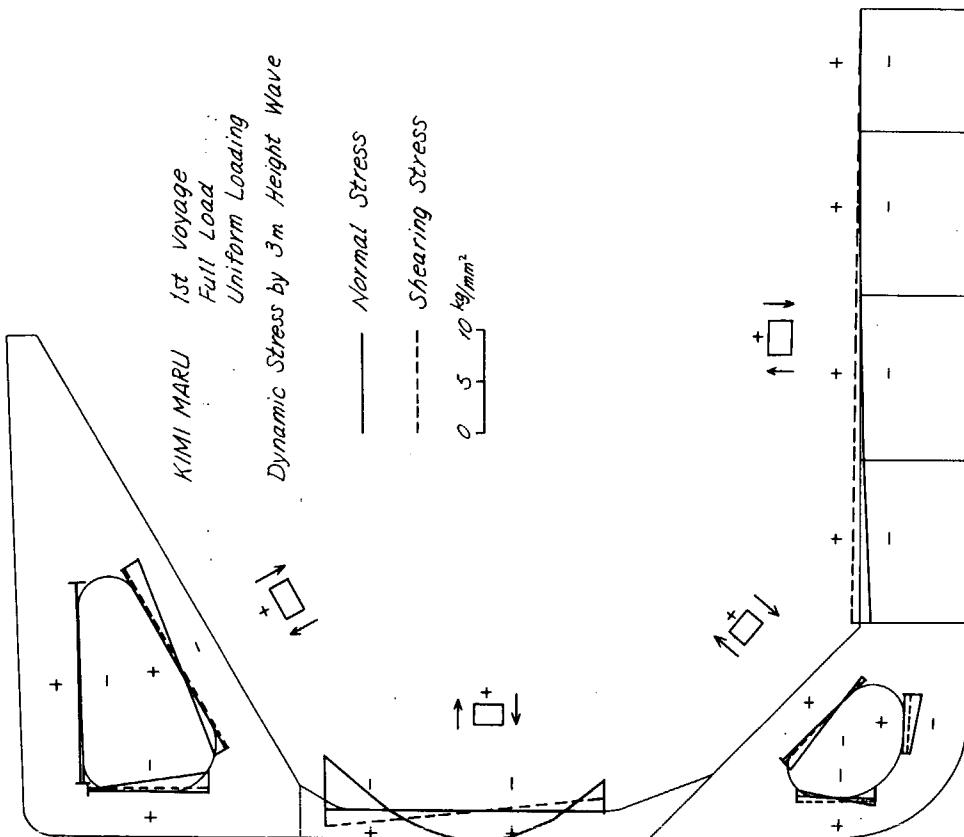


Fig. 7.3.7 Calculated dynamic stress induced by 3 m height wave (KIMI MARU, Uniform loading)

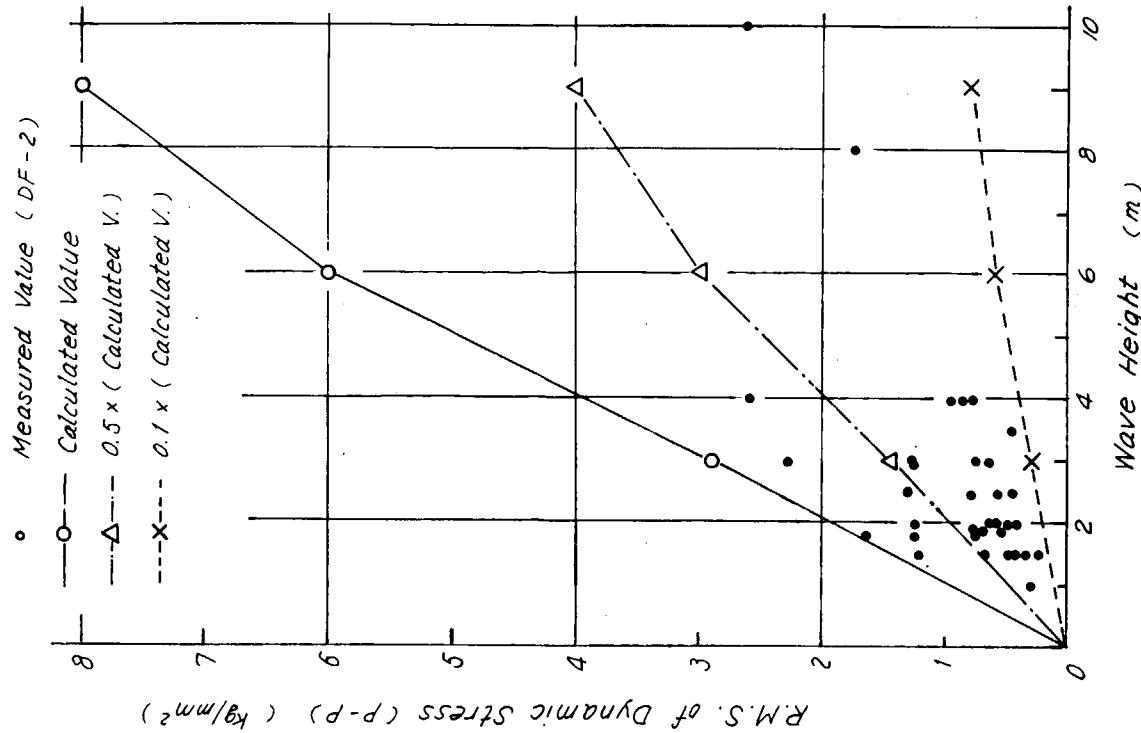
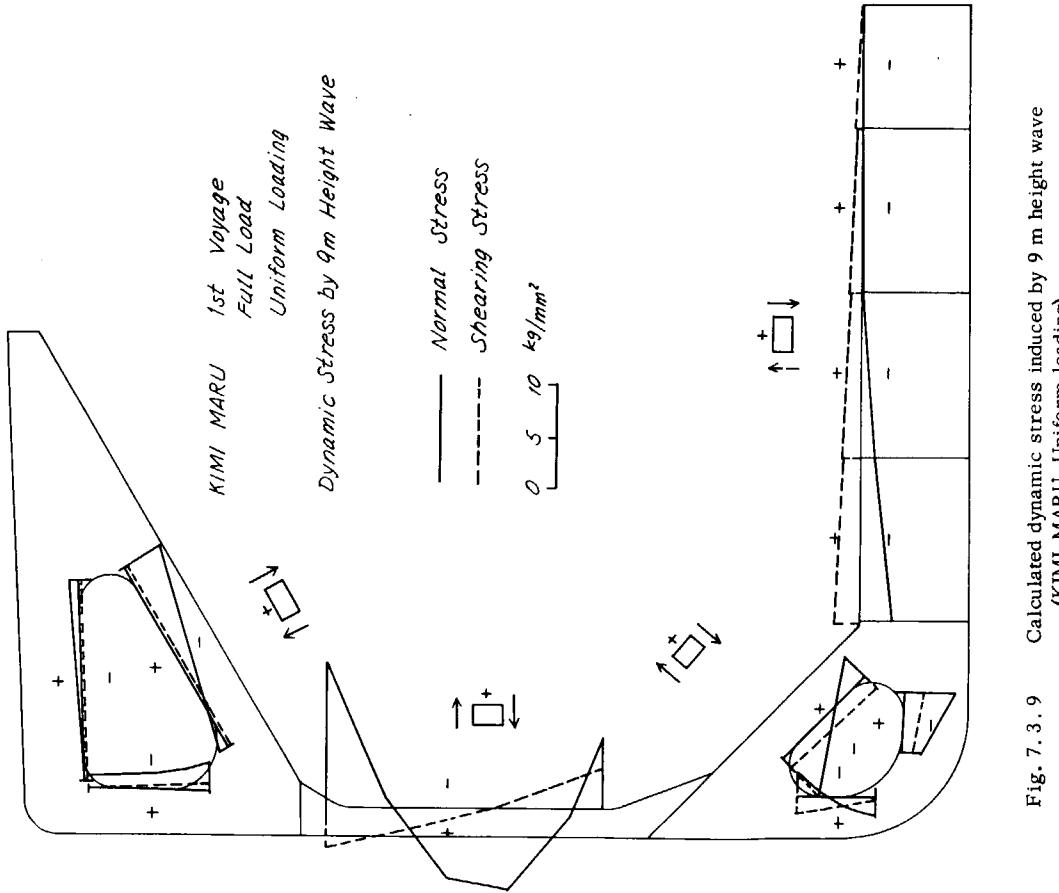


Fig. 7.3.10 R. M. S. of dynamic stress vs. wave height  
(KIMI MARU, Full load, DF-2 Center of frame)



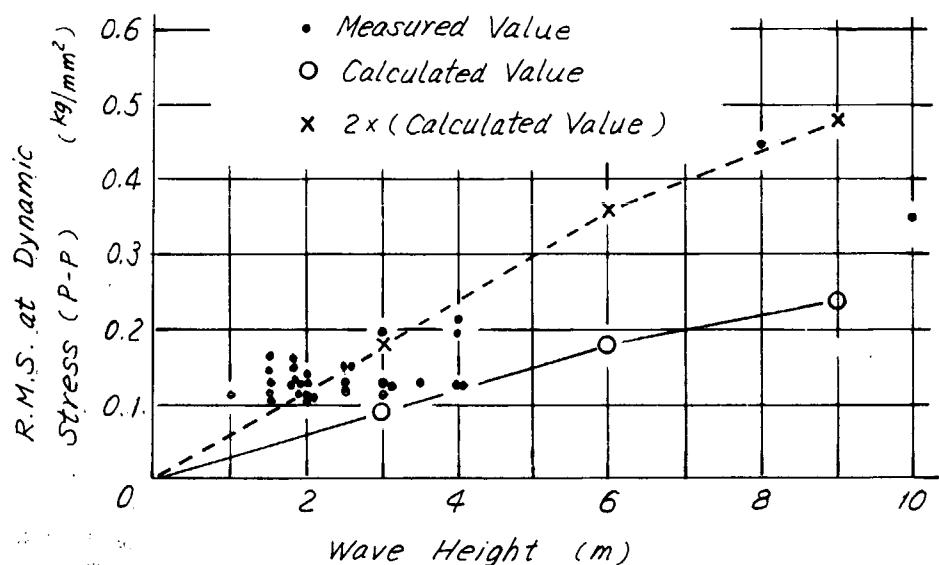


Fig. 7.3.11 R. M. S. of dynamic stress vs. wave height  
(KIMI MARU, Full load, DB-1 Center of double bottom)

Tab. 7.4.1 Environmental conditions (KIMI MARU)

Data Number	Date 1970	Wave Height (m)	Wave Length (m)	Wind Scale (B.S.)
1	June 29	4.0	80	4
2	July 7	8.0	190	4
3	July 11	10.0	180	7
4	Sept. 13	2.5	95	1
5	Sept. 21	4.0	120	7

Tab. 7. 4. 2 Dynamic coal pressure and pitching  
(KIMI MARU, Data No. 3, July 11, 1971)

No.	Dynamic Coal Pressure		Pitching	
	Period (s)	$E_0^*$ ( $\mu$ )	Period (s)	Angle (deg.)
1	6.53	2.50	7.91	1.30
2	6.71	2.95	9.02	1.83
3	9.60	4.80	8.64	2.41
4	7.44	10.16	7.92	2.50
5	7.92	9.57	8.09	2.78
6	9.60	7.50	8.28	2.48
7	7.60	12.24	8.45	1.63
8	7.92	13.38	8.04	1.03
9	7.05	10.95	7.96	0.63
10	6.96	6.05	7.75	1.38
11	9.07	5.65	7.80	2.38
12	8.16	2.75	8.16	2.19
13	6.72	2.00	—	—
Mean	7.71	6.96	8.17	1.88

\*  $E_0 = E_L - E_G$  (see Fig. 7.4.2)

Tab. 7. 4. 3 Dynamic coal pressure and pitching (KIMI MARU)

No.	Date	Pitching			Strain at Inner Bottom			Heaving $h^*3$ (m)
		Angle $\theta$ (deg.)	Period $T_p^*$ (sec)	Acc. $\alpha^*2$ (cm/sec <sup>2</sup> )	Measured $E_c$ ( $\mu$ )	Calculated $E_m$ ( $\mu$ )	$E_m/E_c$	
1	June 29, '70	0.5	8.4	7.8	1.9	5.8	3.0	0.7 (0.7)*4
2	July 7, '70	0.6	7.4	8.3	2.0	4.3	2.1	0.4 (1.3)
3	July 11, '70	1.8	8.0	69.9	17.1	13.4	0.8	-0.3 (1.7)
4	Sept. 13, '70	0.9	7.5	4.0	1.0	1.8	1.8	0.5 (0.4)
5	Sept. 21, '70	0.3	9.8	6.5	1.6	4.8	3.0	0.3 (0.7)

\*1  $T_p = 2.13 \sqrt{d} = 7.5$  (sec) (Normand's eq.)

\*2  $\alpha = 4\pi^2 \theta l / T_p^2$ ,  $l = 37.3$  m (Pitching center is assumed at midship)

\*3  $h = \frac{\pi}{180} l \theta (\frac{E_m}{E_c} - 1)$

\*4 ( ) shows approximate calculation by  $h = 0.168 H_w$ .  $H_w$  = Mean wave height

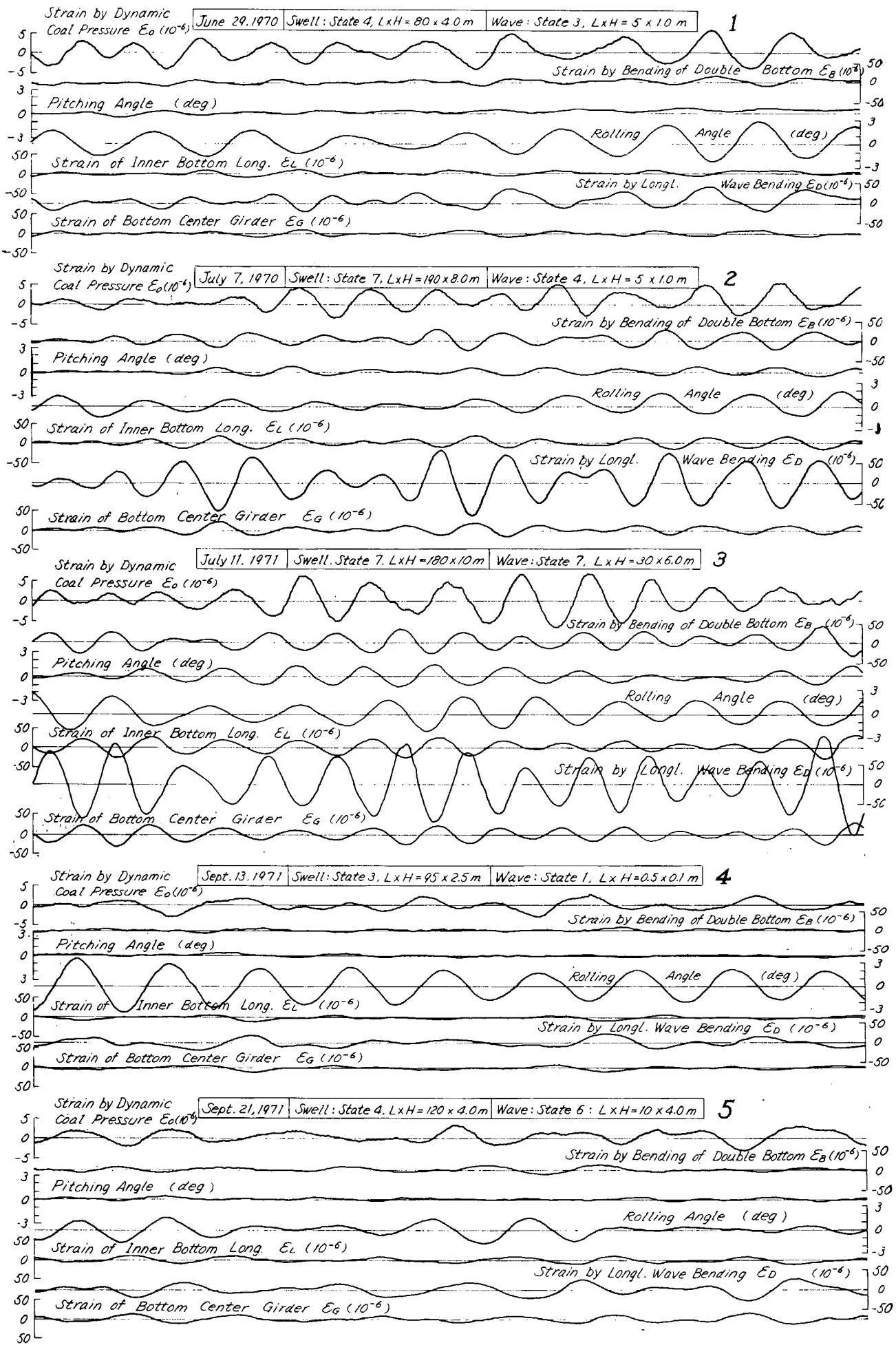


Fig. 7. 4. 1 Examples of oscillogram (KIMI MARU)

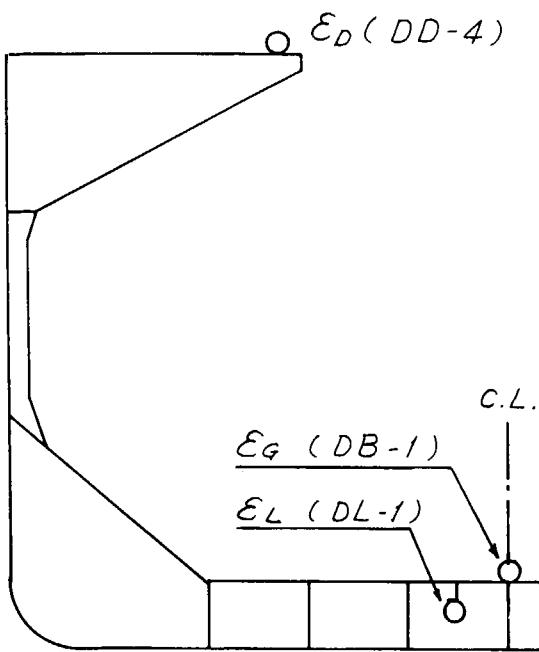


Fig. 7.4.2 Strain gage position for dynamic pressure  
of cargo coal

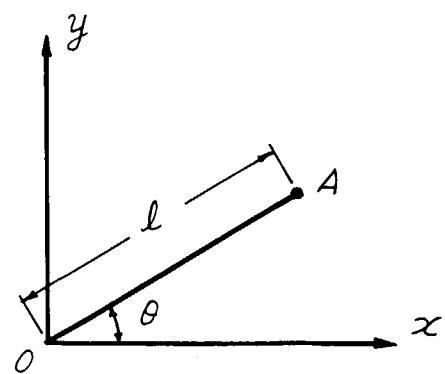


Fig. 7.4.3 Pitching angle

## 附 錄

## APPENDIX

## 建造過程において行われた実船応力計測

Full Scale Measurements of Ship  
Strength Conducted in Shipyards  
before Their Completion

本研究部会では、日本造船工業会の依頼によつて各造船所における、建造過程において行われた実船応力計測の調査を、昭和45年10月に行なつた。調査した13造船所中11造船所から回答を得たが、以下はそれを一覧表としてとりまとめたものである。

Tab. A-1 Tested vessels and items

Kind of Ship	Items	No. of Ships
Oil Tanker	Strength of Trans. Ring	11
	Longitudinal Strength	13
	Local Strength	4
Container Ship	Torsional Strength	1
	Local Strength	1
Ore Carrier	Strength of Trans. Ring	1
	Local Strength	1
Bulk Carrier	Strength of Double Bottom	2
	Strength of Side Frame	4
	Local Strength	1

Tab. A-2(1) Ships tested in yards

Vessels		Oil Tankers									
No.	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	T - 5	T - 6	T - 7	T - 8	T - 9	T - 10	T - 11
L (m)	310	320	249	256	285	310	330	260	302	313	298
Principal Dimension	B (m)	48	51.8	40.4	42.5	48.2	48.4	48	42	50.4	48.2
D (m)	27	26.7	20.9	22	23.5	23.6	27	23.3	23.5	25.2	24.2
d (m)	19	20.55	14.8				19	15.47	17.4	17.8	19.35
DW (t)	200,000	230,000	96,500	122,000	157,000	202,000	200,000			194,000	214,000
Objects	Strength of trans. ring & vicinity Trans ring	Check of Computed Results by Structural Analysis				Trans. Strength	Trans. Strength	Long. Strength	Strength of Members in oil tank		
Item	Stress of Trans. ring of Oil Tank	Stress of Trans. ring & Bottom Deflection of Wing Tank				Stress of Wing tank Trans. ring & Stringer. Shear Deflection of Wing Tank	Stress of Center Line Vert. Web., Center Girder Deck.	Stress of Center Line Vert. Web., Center Girder Girder	Stress of Center Line Vert. Web. and Bottom Center Girder Girder		
Position	Bottom & Side Trans. in No. 3 Tank	Stress : One Section Long. Def. : Each Bit. Shear Def. : 4. Point				80	100	10	100	20	30
No. of Gages	Bottom Trans. 9 Side Trans. 6 Strut 4										60
Loading Method	Ballasting	Tank Test	Tank Test	Tank Test	Tank Test	Tank Test	Tank Test	Tank Test	Docking		
Date	Nov. Dec '69 March '70	June '70 Oct. '70	Nov. '68	May '67	April '68	June '68	Dec. '68	May '68	Sept ~ Nov. '70	June-July '70	April '70 Feb '70
Publication	—	—	Seibu Zosen No. 32	Tech Rep of Mitsubishi, 2-i2, March '69				—	—	—	—
Shipyard	Mitsui	N.K.K.	I.H.I.	Mitsubishi				Kawasaki			Mitsubishi
Memo.	2 other same type ships							other 12 Vessels			

Tab. A-2(2) Ships tested in yards

Vessels	Bulk Carrier	Ore Carrier	Container Ship
No.	B-1	B-2	B-3
L(m)	236.2	222	247
Principal Dimension	31.8	31.7	40.6
D(m)	18.7	19.85	21
d(m)	12.2	12.16	16
D.W.(t)	59,900	58,700	37,000
Strength of Corrugate Bhd.	Local Strength	Effect of Tripping Bkt. of Side Frame	Strength Against Twisting Loads
Item	Deflection of Corrugate Bhd.	Stress of Trans. Ring & Bottom Girder. Lower Girder. End of Hatch, and Caming Frame and Trans. Hopper and Bhd.	Stress of Side Frame Lower End of Hatch and Caming Frame
Position	No. 6 Hold	No. 4 Hold.	Mid Ship
No. of Gages	12	Stress 3/7 Defl. 7	5 Gages per one Frame
Loading Method	Tank Test	Tank Test	Tank Test
Date	Jul. '68	Sept. '68	May '69
Publication	J.S.N.A. No.723	—	J.S.N.A. No.21
Shipyard	I.H.I.	Mitsubishi	I.H.I.
Memo			Another one
			Stress 200 Defl. 43
			Tank Test
			Launching
			Tank Test
			Dec. '69
			Tech. Rep. I.H.I.
			Mitsui
			Hittachi