

日本造船研究協会報告

第 81 号

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

第 124 研究部会

Full Scale Measurement of Wave Loads and
Structural Response of Large Ore Carriers
The 124th Research Committee

Report No. 81
The Shipbuilding Research Association of Japan

昭 和 51 年 6 月

社 団 法 人

日本造船研究協会

Report of the Shipbuilding Research Association of Japan
No. 81

**FULL SCALE MEASUREMENT OF WAVE LOADS AND
STRUCTURAL RESPONCE OF LARGE ORE CARRIERS**

by
The 124-th Reserch Committee (SR-124)
The Shipbuilding Research Association of Japan

The Shipbuilding Research Association of Japan
(Shiba-Kotohira-cho 35, Minato-ku, Tokyo, 105 Japan)

June 1976

第124研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	高橋 幸伯(東京大学)	
幹事委員	安藤文隆(船舶技術研究所) 川上益男(広島大学) 寺本晋(三菱重工業) 長沢準(船舶技術研究所) 能勢義昭(東京大学) 藤田純夫(三菱重工業) 元良誠三(東京大学) 山本善之(東京大学)	折戸博允(大阪商船三井船舶) 郷田国夫(船舶技術研究所) 土井進一(大阪商船三井船舶) 繩田卓生(三菱重工業) 萩原孝一(三菱重工業) 前田久明(東京大学) 山口勇男(日本海事協会) 湯浅通史(日本海事協会)
委員	明玉弘一郎(飯野海運) 伊藤剛平(日本造船工業会) 梅根弘毅(三光汽船) 岡田高(沖電気工業) 上藤道雄(大阪造船所) 桑山則男(住友金属工業) 後藤大三(石川島播磨重工業) 佐伯庄吾(三井造船) 高城清(川崎汽船) 高屋舗尙史(出光タンカー) 田辺正雄(かもめプロベラ) 福田淳一(九州大学) 松山辰郎(富士通) 三沢敏夫(住友重機械工業) 望月勇(臼杵鉄工所) 米谷満哉(日本郵船) 綿屋悟郎(佐世保重工業)	秋田好雄(日本海事協会) 井上博之(舞鶴重工業) 岡田正次郎(日立造船) 緒方羊二(新和海運) 唐沢孝夫(三光汽船) 小坂正夫(協立電波) 小林実(北辰電機製作所) 滋野正明(佐野安船渠) 高木又男(日立造船) 田中磯一(光電製作所) 難波篤直(川崎重工業) 藤野淳(昭和海運) 間野正己(石川島播磨重工業) 三島尙三(名村造船所) 森川卓(日本船主協会) 渡辺次郎(函館ドック)

計測担当員名簿（順不同）

第1期計測	繩田卓生(三菱重工業) 真崎鉄如(三菱重工業) 金井良助(三菱重工業) 能勢義昭(東京大学) 白井久益(三菱重工業)	平原幸雄(三菱重工業) 広川紀雄(三菱重工業) 松岡秀機(三菱重工業) 佐伯修(三菱重工業) 佐藤信雄(日本海事協会)
第2期計測	能勢義昭(東京大学) 細田龍介(大阪府立大学) 久保寺真司(共和電業) 井上篤次郎(神戸商船大学) 花本幹夫(三菱重工業)	池淵哲朗(川崎重工業) 湯原哲夫(三菱重工業) 外山嵩(大阪府立大学) 小畠和彦(東京大学) 安藤和彦(三菱重工業)
自動計測	能勢義昭(東京大学)	田中一雅(広島大学)

S U M M A R Y

The 124-th Research Panel (SR-124) of the Shipbuilding Research Association of Japan was organized in 1970 to conduct the full scale measurements of ore carriers to study the problems of wave loads and ship's response in service conditions.

In 1971, three new research panels were organized to carry out the project of the Numerical Analysis of Ships Structure , by the joint researches of these four panels as follows.

SR-131 : Wave Loads, Hydrodynamics,

SR-132 : Developement of Ocean Wave Recorders,

SR-133 : Structural Strength,

SR-124 : Full Scale Measurements.

Then the works of our panel have been conducted giving the accents on the measurements of ocean waves, wave pressures on ship's hull, and wave bending moments.

The measurements of our panel were classified in two categories, the incorporated measurements and the automatic ones.

The incorporated measurements were to correspond to the above mentioned joint researches. Measurements were carried out on an ore carrier KASAGISAN MARU (D.W.117,571t) on Japan-Australian route, for five voyages in 1970-71, and for five times in 1973-74. Those of the second term were carried out in association with the panel SR-132.

Ocean waves in the vicinity of the running ship were measured by throw-away type wave buoys and FM telemetering. Simultaneous measurements of waves and ship's response in such a scale were the first trials in Japan. The details and the results of wave measurements are to be explained in the report of SR-132. Some results of measurements and analysis of short-term distribution of ship's response, frequency distribution of r.m.s. values, impactive and non-impactive wave pressures on the hull, spectral correlations of response, and pressures by cargo ore are reported here. To correlate with the results of theoretical analysis and experiments in the laboratories by other research panels, we have not finished all the analysis yet, but some gratifying results have been obtained.

The automatic measurements have been started in 1971, to obtain statistical data of ship's response continuously for a long term. In this cases, the data of environmental conditions were mainly visual data by the courtesy of the ship's officers.

In the first group of three ships,

WAKAHATA MARU (ore)(DW. 93,113t) Jan. '72 - Oct. '74,

JAPAN ALDER (bulk)(DW. 57,911t) Sept.'72 - Sept.'74,

CHIDORISAN MARU(ore)(DW.164,644t) Jan. '73 - Feb. '75,

the r.m.s.values of ship's response had been measured and recorded hourly in the form of digital prints by the Automatic R.M.S. Recorders. The number of measured elements were three or four, and the duration of r.m.s. calculation was 20 or 15 minutes. These measurements were conducted very successfully through the whole term of each ship, and many useful statistical data were integrated.

In the second group of four ships,

KASAGISAN MARU (ore)(DW.117,521t) Dec. '71 - Nov. '74,

PORT LATTA MARU(ore)(DW. 93,356t) Feb. '72 - Oct. '74,

CHIAKI MARU (bulk)(DW.115,000t) Oct. '72 - Nov. '74,

KAMAKURA MARU(container)(DW. 35,406t) Dec. '72 - Dec. '74,

the time histories of ship's response were recorded by the Automatic Analogue Data Recorders in electromagnetic tapes. The recorders were to be acutuated for 30 minutes only when the r.m.s. value of the wave bending stresses had exceeded the pre-setted value in very severe condition. These measurements have not always proved successful, for some reasons such as the troubles of the instrumentations, and few and far between cases of the expected severe sea conditions and so on.

目 次

1. まえがき	1
2. 総合実船計測	2
2.1 計測船および計測期間	2
2.2 計測項目および計測記録装置	2
2.3 解析装置	4
2.4 計測結果	4
2.4.1 外界条件	4
2.4.2 波 浪	4
2.4.3 船体応答の短期分布	4
2.4.4 R.M.S. 値の頻度分布	5
2.4.5 衝撃水圧	5
2.4.6 非衝撃変動水圧	6
2.4.7 スペクトル解析	6
2.4.8 鉱石圧	7
3. 自動計測	8
3.1 計測船および計測項目	8
3.2 計測装置	8
3.3 自動R.M.S.計による計測結果	9
3.3.1 概 要	9
3.3.2 外界条件	9
3.3.3 R.M.S. 値の頻度分布	10
3.3.4 長期予測	10
3.4 自動ダイナミックデータ集録装置による計測結果	11
3.4.1 概 要	11
3.4.2 衝撃水圧頻度	11
4. あとがき	13
参考文献	14

CONTENTS

	Page
1. Preface	1
2. Incorporated Measurements	2
2.1 Measured Ship and Voyages	2
2.2 Measuring Item and Instruments	2
2.3 Instruments for Analysis	4
2.4 Results of the Measurements	4
2.4.1 Environmental Conditions	4
2.4.2 Ocean Wave	4
2.4.3 Short Term Distribution of Ship's Response	4
2.4.4 Frequency Distribution of R.M.S. Values	5
2.4.5 Impactive Wave Pressure	5
2.4.6 Non-Impactive Wave Pressure	6
2.4.7 Spectral Analysis	6
2.4.8 Pressure by Cargo Ore	7
3. Automatic Measurements	8
3.1 Measured Ships and Measuring Item	8
3.2 Instruments	8
3.3 Results by Automatic R.M.S. Meters	9
3.3.1 Outline	9
3.3.2 Environmental Conditions	9
3.3.3 Frequency Distribution of R.M.S. Values	10
3.3.4 Long Term Prediction	10
3.4 Results by Automatic Analogue Data Recorder	11
3.4.1 Outline	11
3.4.2 Impactive Wave Pressure	11
4. Postscript	13
References	14

附 図 お よ び 附 表 目 次

(総合実船計測)

T a b . 2 . 1	実船計測実施航海一覧	1 5
T a b . 2 . 2	計測項目および計測点	1 5
F i g . 2 . 1	計測点配置	1 5
F i g . 2 . 2	水圧計およびひずみゲージ配置	1 6
F i g . 2 . 3	計測および記録システムのダイヤグラム	1 6
F i g . 2 . 4	波浪ブイによる波浪計測海面	1 6
T a b . 2 . 3 (1)	R M S 値・最大値・平均周期一覧(1) (波浪・船体運動・波浪曲げ応力)	1 7
T a b . 2 . 3 (2)	R M S 値・最大値・平均周期一覧(2) (中央断面およびB断面の水圧)	1 8
T a b . 2 . 3 (3)	R M S 値・最大値・平均周期一覧(3) (C断面およびF.P. の水圧)	1 9
T a b . 2 . 3 (4)	R M S 値・最大値・平均周期一覧(4) (船側縦通フレームの応力)	2 0
F i g . 2 . 5	応答短期分布のヒストグラム例	1 7
F i g . 2 . 6 (1)	R M S 値の頻度分布(1) (波浪・船体運動・波浪曲げ応力)	2 1
F i g . 2 . 6 (2)	R M S 値の頻度分布(2) (C断面の応力と水圧)	2 2
F i g . 2 . 6 (3)	R M S 値の頻度分布(3) (B断面の応力と水圧)	2 3
T a b . 2 . 4	R M S 値の頻度分布	2 4
F i g . 2 . 7	波浪曲げ応力のR M S 値・最大値と波高との関係	2 4
F i g . 2 . 8	波浪衝撃圧力のヒストグラム	2 4
F i g . 2 . 9	波浪衝撃の衝撃時間の頻度分布	2 4
F i g . 2 . 1 0	波浪衝撃の衝撃時間と衝撃圧力との関係	2 5
F i g . 2 . 1 1	波浪衝撃圧力と近傍の船体応力	2 5
T a b . 2 . 5	変動水圧のR M S 値と最大値	2 6
F i g . 2 . 1 2	横断面における変動水圧および縦通材応力の分布	2 6
F i g . 2 . 1 3	変動水圧と近傍の船体応力との関係 (R M S 値)	2 7
F i g . 2 . 1 4	変動水圧と近傍の船体応力との関係 (ピーク値)	2 7
F i g . 2 . 1 5	スペクトル解析例	2 8
T a b . 2 . 6	スペクトル解析例	2 9
F i g . 2 . 1 6	波高と波浪曲げ応力のスペクトル。バンドパラメタ	3 0
F i g . 2 . 1 7	側壁に加わる鉛石圧	3 0

(自 動 計 測)

T a b . 3 . 1	自動計測船一覧	3 1
F i g . 3 . 1	自動計測における計測点配置	3 1
T a b . 3 . 2	自動計測実施航海一覧	3 2
T a b . 3 . 3	R M S 値の頻度分布 (若幡丸・波浪曲げ応力)	3 2

T a b . 3 . 4	R M S 値の頻度分布(ジャパンオールダ・波浪曲げ応力)	3 3
T a b . 3 . 5	R M S 値の頻度分布(千鳥山丸・波浪曲げ応力)	3 4
T a b . 3 . 6	R M S 値の頻度分布(ジャパンオールダ・横搖角)	3 5
T a b . 3 . 7	R M S 値の頻度分布(千鳥山丸・波浪水圧)	3 6
T a b . 3 . 8	遭遇波高の頻度分布	3 7
F i g . 3 . 2	遭遇波高の頻度分布	3 7
F i g . 3 . 3	出合角度の頻度分布	3 8
F i g . 3 . 4	目視波高と風力階級との関係	3 8
F i g . 3 . 5	波浪曲げ応力と波高および出合角度との関係 (上甲板波浪曲げ応力の R M S 値の頻度分布 , 若幡丸)	3 9
F i g . 3 . 6	波浪曲げ応力の R M S 値と出合角および載貨状態との関係	4 0
F i g . 3 . 7	波浪曲げ応力の R M S 値の平均値と波高の関係	4 0
F i g . 3 . 8	波浪曲げ応力の長期予測	4 1
F i g . 3 . 9	横搖角および縦搖角の長期予測	4 1
T a b . 3 . 9	波浪衝撃水圧の頻度分布(鎌倉丸)	4 2
F i g . 3 . 1 0	波浪衝撃水圧の頻度分布(鎌倉丸)	4 2

List of Figures and Tables

	Page	
Tab.2.1	Voyages for Measurements (KASAGISAN MARU)	15
Tab.2.2	Measuring Points on KASAGISAN MARU	15
Fig.2.1	Arrangement of Measuring Points (KASAGISAN MARU)	15
Fig.2.2	Arrangement of Pressure and Strain Gages	16
Fig.2.3	Diagram of Measuring and Recording System	16
Fig.2.4	Position of Wave Measurements by Wave Buoys	16
Tab.2.3 (1)	RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (1) (Wave, Ship Motion and Wave Bending Stress)	17
Tab.2.3 (2)	RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (2) (Wave Pressure of Midship and B-Section)	18
Tab.2.3 (3)	RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (3) (Wave Pressure of C-Section and F.P.)	19
Tab.2.3 (4)	RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (4) (Stress of Side Longitudinal Frames)	20
Fig.2.5	An Example of Short Term Distribution	17
Fig.2.6(1)	Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (1) ... (Wave, Ship Motion and Wave Bending Stress)	21
Fig.2.6(2)	Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (2) ... (Stress and Pressure of C-Section)	22
Fig.2.6(3)	Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (3) ... (Stress and Pressure of B-Section)	23
Tab.2.4	Statistical Distribution of R.M.S. Values	24
Fig.2.7	RMS and Max. Value of Wave Bending Stress vs. Wave Height	24
Fig.2.8	Histograms of Impulsive Wave Pressure	24
Fig.2.9	Frequency Distribution of Duration Time of Impactive ... Wave Pressure	24
Fig.2.10	Impact Pressure Value vs. Duration Time	25
Fig.2.11	Impact Wave Pressure vs. Hull Stress (C-Section, Fr.88) ..	25
Tab.2.5	R.M.S. and Max. Values of Wave Pressure	26
Fig.2.12	Distribution of Wave Pressure and Frame Stress (B-Section)	26
Fig.2.13	Wave Pressure vs. Hull Stress in the Vicinity (RMS Value)	27
Fig.2.14	Wave Pressure vs. Hull Stress in the Vicinity (Max. Value)	27
Fig.2.15	An Example of Spectral Analysis	28
Tab.2.6	An Example of Spectral Analysis	29
Fig.2.16	Spectral Band Parameter of Wave Height and Wave Bending ... Stress	30
Fig.2.17	Statical Pressure of Cargo Ore to the Side Wall (B-Section)	30

	Page	
Tab.3.1	Ships for Automatic Measurements	31
Fig.3.1	Measuring Points of Automatic Measurements	31
Tab.3.2	Voyages for Automatic Measurements	32
Tab.3.3	Frequency Distribution of RMS Values (WAKAHATA MARU, Wave Bending Stress)	32
Tab.3.4	Frequency Distribution of RMS Values (JAPAN ALDER, Wave Bending Stress)	33
Tab.3.5	Frequency Distribution of RMS Values (CHIDORISAN MARU, Wave Bending Stress)	34
Tab.3.6	Frequency Distribution of RMS Values (JAPAN ALDER, Rolling Angle)	35
Tab.3.7	Frequency Distribution of RMS Values (CHIDORISAN MARU, Wave Pressure)	36
Tab.3.8	Frequency Distribution of Encounter Wave Heights	37
Fig.3.2	Frequency Distribution of Visual Wave Heights	37
Fig.3.3	Frequency Distribution of Encounter Angles	38
Fig.3.4	Visual Wave Height vs. Beaufort Wind Scale	38
Fig.3.5	Wave Bending Stress vs. Visual Wave Height and Encounter Angle (Frequency Distribution of RMS Values of Stress Amplitude of Upper Deck Amidship, WAKAHATA MARU)	39
Fig.3.6	Effect of Encounter Angle and Load Condition to the RMS Values of Wave Bending Stress	40
Fig.3.7	Mean Values of RMS of Wave Bending Stress vs. Wave Height ..	40
Fig.3.8	Prediction of Long Term Distribution of Wave Bending Stress ..	41
Fig.3.9	Prediction of Long Term Distribution of Rolling and Pitching Angle	41
Tab.3.9	Frequency Distribution of Impactive Wave Pressure (Fore Poppet, KAMAKURA MARU)	42
Fig.3.10	Frequency Distribution of Impactive Wave Pressure (Fore Poppet, KAMAKURA MARU)	42

1. まえがき

最近の大型運搬船は、その構造、一般配置・積荷条件等が従来の一般貨物船と著しく異なり、船体構造の強度に関して特異な問題点が数多くあるものと思われる。本研究は、これら大型鉱石運搬船の就航時における波浪荷重およびそれに対する船体応答の実態を調査し、問題点の把握と基礎資料の収集とを計ることを目的とするものである。

第124研究部会(SR124)は、上記の目的のもとに、日本船舶振興会の補助金交付を得て、昭和45年度から当初3ヶ年計画の研究として発足したものであるが、同年度の中途から発動した「船体構造計算法の開発」という5ヶ年連続の大型研究の一環として、昭和49年度までの5ヶ年継続研究に計画を変更し、合同プロジェクトの実船計測分野を担当することとなった。当初計画からの大幅な変更はないが、波浪荷重のなかでも、波浪曲げモーメントと船首部の波浪荷重(変動水圧および衝撃水圧)の計測に重点をおくこととした。

本部会で実施した実船計測は、大別すると、総合実船計測と自動計測の2種類に分けられる。

総合実船計測は、大型鉱石運搬船の航走中の波浪荷重・各種応答とともに波浪ブイを使用して外界条件としての波浪計測も同時に行なう総合的なものであり、鉱石運搬船「笠木山丸」(DW 117,571t)について実施した。昭和45、46両年度にわたって、5航海について実施したが、その後、第132研究部会(SR132)による波浪ブイの開発を待って、昭和48・49年度にわたって、再び5航海の計測とSR132との共同研究の形で実施した。

自動計測は、昭和46年度から3隻と昭和47年度から4隻、合計7隻について実施し、いずれも昭和49年度内の入渠時をもって終了した。この計測には、計測員は便乗せず、船体応答のみ自動計測し、外界条件は乗組員の観測記録に依存する方式をとった。各種の異なった航路の情報を得たいという希望もあって、対象船としては必ずしも鉱石運搬船に限定しなかった。

自動計測の方式にも2種類を採用した。その一つは、

鉱石運搬船	「笠木山丸」	(DW 117,571t)
同	「ぼうとらった丸」	(DW 193,356t)
ばら積船	「千秋丸」	(DW 115,000t)
コンテナ船	「鎌倉丸」	(DW 35,406t)

の4隻について実施したもので、ある程度以上の荒天時にのみ記録装置が始動して、15分間のアナログ記録を磁気テープにとる方法である。他の一つは、

鉱石運搬船	「若幡丸」	(DW 93,113t)
ばら積船	「ジャパン・オールダ」	(DW 57,911t)
鉱石運搬船	「千鳥丸」	(DW 164,644t)

の3隻について実施したもので、航海中の全期間を通じて連続して1時間おきに、応答のR.M.S.値を記録し、統計資料を集積しようとするものである。

2. 総合実船計測

2.1 計測船および計測期間

総合実船計測は、大型鉱石運搬船「笠木山丸」について実施した。本船の主要要目等は次の通りである。

主要寸法 (Lpp × Bm × Dm)	247.00 × 40.60 × 23.00 m
満載吃水	16.00 m
船体中央断面二次モーメント (I)	466.2 × 10 ⁶ mm ⁶
船体中央断面係数 (I/y)	35.66 × 10 ⁶ mm ⁶
満載航海速力	14.8 kt
載貨重量 (D.W.)	117571 t
機関出力 (P.S.)	22400 HP
船主	大阪商船三井船舶(株)
建造所	三菱重工業(株)広島造船所
竣工年月日	1970年11月30日

総合実船計測は、昭和45・46年度に第1期、昭和48・49年度に第2期として、各5航海ずつ10航海について実施した。各航海の時期および航路を Tab. 2.1 に示す。各航海とも2名ずつ便乗して計測に当ったが、第2期の計測員中4名は波浪計測関係として S.R.132 からの協力を得た。

第1期の計測は予備的な性格が強く、ここに報告する計測・解析結果の大部分は第2期計測のものである。ただ、鉱石圧に関する計測は第1期のみで、第2期には実施しなかった。

2.2 計測項目および計測記録装置

(1) 計測項目および計測点

計測項目・計測点とその配置を Tab. 2.2、Fig. 2.1 および Fig. 2.2 に、また計測ダイヤグラムを Fig. 2.3 に示す。本表のほか、気象・海象に関しては本船側の記録も利用した。

計測点の主体は、波浪水圧を測定する水圧計18点と、その波浪水圧と対応をとるため水圧計近傍の船側フレームの面材のひずみゲージ10点である。第1期計測ではこれらはそれぞれ24点ずつ計測し、このほかにも、A断面として Fr. 80 にも計測点を配置し、さらにB断面では、鉱石圧を測るための縦通隔壁の防撓材の応力、トランスリングの応力を計測したが、第2期計測では計測点を大幅に絞った。Tab. 2.2 のうちで、鉱石圧関係は第1期計測のみ実施したものである。

また、表中の波浪関係の計測は S.R.132 担当のものである。

i) 気象・海象・本船状態

風向・風力・風浪・うねりそのほかの気象・海象や、船速・回転数などの本船状態は、本船の計器または当直士官の観測により記録して貰った。

ii) 波浪荷重

荒天時に船首部船側外板に生ずる波浪衝撃の計測に主眼を置き、船底や船体中央部の船側などにも若干の計測点を配置した。水圧計とひずみゲージによる計測で、その計測点配置は Fig. 2.2 に示す通りである。これらの計測において、水圧計は局部的な圧力を計測し、船側縦通材に貼ったひずみゲージはパネルの平均水圧を計測し、両者の相関を検討しようとしたものである。水圧計変換器の詳細、ひずみゲージの防水処理などについては、昭和46年度報告²⁾に詳しい。

iii) 船体応力

上甲板の波浪曲げ応力を計測するために、船体中央部の両舷と、B断面(Fr. 84 1/2)の左舷にひずみゲージを貼付けた。

IV) 波浪

波浪計測は、投棄式の波浪ブイによる波高計測と、レーダーによる波向き計測を行った。波浪ブイの数が限られているので、総合計測時の波浪の記録はⅠ)に述べた目視観測記録との併用になる。

V) 船体運動

船体運動を計測するため、計測室内に動搖計を取付けた。このほか、上下方向の加速度計3点、前後方向の加速度計1点を配置した。

VI) 鉱石圧

B断面の縦通隔壁の縦通フレームにひずみゲージを貼り、鉱石圧の計測を行った。

(2) 計測記録装置

i) 動搖計

動搖計は東京航空計器(株)製のTVG 50/YZ型で、第1期計測に使用したもの¹⁾に若干改良を加えたものを使用した。バーチカルジャイロによって縦搖角および横搖角を検出すると同時に、ジャイロを人工水平儀として、これに取付けた2箇の加速度計で検出した加速度も增幅積分して、Y方向(ヨーイング)とZ方向(上下動)の加速度・速度および変位を検出するものである。

ii) 波浪計

波浪ブイは神戸電波(株)製の水圧検知方式のもので、水圧変動(波高変動)をA-D変換して本船にFMテレメータで送信する。本船では、この信号をそのまま紙テープに穿孔するが、D-A変換してモニター記録もとれるようになっている。波浪ブイ。送受信装置およびブイランチャーなどの詳細については、SR 1 3 2の報告書⁸⁾に譲る。また、ただ1箇だけではあるが、加速度式の波浪ブイも試用した。

iii) レーダー波向計

本船のレーダー信号によってモニター指示器に波の映像を出させ、これをカメラで5秒1枚の速度で撮影するとともに、ビデオテープレコーダに記録して解析するものである。詳細は同じくSR 1 3 2の報告書^{8,9)}に譲る。

iv) 動ひずみ計

動ひずみ計は、(株)共和電業製の200A型21台と、横河電機(株)製の3126型30台とを併用し、途中での切換操作なしで51チャンネルの同時計測ができるようにした。前者は交流式(5kHz)、後者は直流式のブリッジ方式のものである。

v) データレコーダ

磁気テープ式のアナログデータレコーダで、(株)共和電業製のRTP-110A型3台を使用した。これは、データ記録再生14チャンネル、音声メモリ1チャンネルで、使用テープは幅1/2インチ、長さ700m、テープ速度は76cm/S(計測時間15分)から4.75cm/S(240秒)まで5段に切換えることができる。

vi) タイマー装置

これは、ナショナル電子計測(株)製の、計測番号、クロック信号の書込み再生装置である。上記のデータレコーダに接続し、計測番号を符号化したデジタル信号と、計測開始から1秒ごとのクロックパルスを1チャンネルに書き込み再生時のデータの検索や、同時刻の異なるデータの対応などを簡易化しようとするものである。

vii) ダイナミック自動データ集録装置

本装置は第3章に述べる自動計測の一環として、昭和46年12月以降、第2期計測の終了まで搭載して自動計測を継続したものである。

2.3 解析装置

解析装置としては、

データレコーダ	(株)共和電業	RTP-110A
ダイナミック自動データ集録装置再生部	(株)共和電業	
実時間相関器	日本無線(株)	NJZ-260A
フーリエ変換器	日本無線(株)	NJZ-273A
データ変換装置(ミニコン)	松下通信工業(株)	MADAC-300T
データプロッタ	渡辺測器製作所	WX-511

などを使用した。詳細は前報^{2), 3), 4)}に譲る。

波浪関係の計測データの解析は、SR132の方で行った。

2.4 計測結果

2.4.1 外界条件

気象・海象等の外界条件は、本船の当直士官に依頼して4時間ごとの記録をとり、波浪の目視観測記録も記載してもらった。そのうち、計測実施時に相当するものを選んで一覧表とし、第1期計測については46年度報告²⁾に、第2期計測については49年度報告⁵⁾に表示した。風力の最大は第1期・第2期ともに7、波高の最大は第1期で3.5m、第2期で7mであった。

2.4.2 波 浪

第1期の計測では、加速度式の投棄式波浪ブイを若干使用したが、必ずしも十分な成果を上げたとはいえたなかった。その後、SR132の開発研究によって各種の方式の波浪ブイの予備的実験を行い、第2期計測では水圧式の波浪ブイを使用して波浪計測を行なった。しかもなお、センサー・送信機部・投入方法などの不備と考えられる故障が多く、投入ブイ62箇のうち、正常なデータの得られたものは33箇で、成功率は53%に止った。波浪計測データの得られた海面をFig. 2.4に示す。図中の番号は計測番号を示すものである。図に見るとおり南緯0~10°の多島海域を除いては、一応航路の全域にわたってデータが得られている。計測結果の詳細についてはSR132の報告に譲る。

レーダによる波向観測の詳細についても同じくSR132の報告に譲る。

2.4.3 船体応答の短期分布

第2期計測の第1~3次航における、船体応答の各計測点の、変動振幅のR.M.S.値、最大値(ピーク値)および平均周期の統計解析結果の一覧をTab. 2.3(1)~(4)に示す。(1)は波浪ブイによる波高、縦搖・横搖および上甲板波浪曲げ応力を示す。計測番号・計測月日の次欄の波浪データは目視観測によるものである。(2)は船体中央およびB断面の水圧、(3)はC断面およびF.P.における水圧、(4)は船側外板縦通フレームの応力を示す。

表中の水圧計のうち※印を付したもの(PBP1, PBP1~3, PCP1~3およびPCS1~3)は、取付位置が水線より上または水線付近にあるため、水圧計が空中に露出している時間の多いものやときどき露出するものがあり、この場合の水圧記録は水圧零を示す直線となり、連続記録はなめらかな変動曲線ではなく、半波整流した電流波形のようになっている。このような場合には、mean-to-peakの振幅を読むという方法が意味をなさなくなるので、これらの水圧計の場合に限りzero-to-peakの水圧絶対値を読んで、そのRMS値および最大値を求めた。波形が正確な半波整流型であれば、このzero-to-peakの値とmean-to-peakの振幅の値は一致するものであるが、各水圧計の吃水

線からの高低差およびそのときの波の状況によって、各水圧計ごとに、また計測のたびごとに、zero 線と mean 線との関係がそれぞれ異なり、正確に mean に相当する線を推定することは困難である。そこで止むを得ず一率に zero-to-peak の値を用いているので、それより下方にある水圧計の mean-to-peak の振幅値との間には当然不連続の生じていることを注意しておく必要がある。

Tab. 2.3 の中での最大のピーク値は、波高で 3.4 m (波高 6.8 m) 、船体縦揺で 1.6° 、横揺で 6.2° 船体中央上甲板の波浪曲げ応力で 2.6 Kg/mm^2 、船側変動水圧では 0.44 Kg/cm^2 、上述の船側水圧の zero-to-peak 値では 0.92 Kg/cm^2 となっている。

短期分布のヒストグラムの一例として、Fig. 2.5 に波浪曲げ応力の例を示す。上段は 15 分間の平均値を零として、引張・圧縮側を別々に 0.2 Kg/mm^2 ずつの区分でピークカウントしたもの、下段は peak-to-peak のレンジカウントを行ったものである。図中の曲線は、RMS 値を用いて計算したレイレイ分布の曲線である。全計測についてヒストグラムを求めることはしなかったが、相当数の解析例では大体においてレイレイ分布に適合しているようであった。Tab. 2.2 の RMS 値の計算では、このような正側・負側別々の計算は行わず、両方の mean-to-peak のカウントを行った。

2.4.4 RMS 値の頻度分布

前項の Tab. 2.2 の RMS の頻度分布を確率紙にプロットしたものを Fig. 2.6(1)~(3) に、また、各測定期点の RMS 値の中央値・平均値および標準偏差の一覧を Tab. 2.4 に示す。

外界条件との関係を示す例として、Fig. 2.7 に波浪曲げ応力の RMS 値および最大値と目視波高との関係を示す。きわめてばらつきが大きいが、平均値を連ねた線は大体有意の傾向を示しているようである。この関係はあとで第 3 章 (自動計測) で再び触れることがある (Fig. 3.7)。

2.4.5 衝撃水圧

船首および船側の衝撃水圧は、第 1 期計測では相当数記録されたが、第 2 期の計測ではほとんど経験しなかった。第 1 期では 2 次航がチリ往復で北太平洋海域を通ってはいるが、海象としては第 2 期とあまり大差はなかった。この差異を生じた最大の原因は船速によるものと思われる。第 1 期 5 航海の船速は 1.2 ~ 1.7 kt で平均 1.49 kt 、第 2 期では 1.1 ~ 1.6 で平均 1.40 kt となっている。平均値では余り大きい差でもないが、内容を見ると、第 2 期航海においては荒天時に減速している例が多いようであった。

第 1 期計測における同一断面の同時計測で求めた衝撃水圧の分布では、衝撃水圧はきわめて局部的に集中しており、相当高い水圧を計測した水圧計のすぐ上の水圧計 (高さの差 1.4 ~ 1.6 m) で同時に同程度の水圧を記録している例はほとんどみられなかった。

比較的衝撃が頻発した場合の衝撃水圧の頻度分布例を Fig. 2.8 に示す。1 ~ 2 分間に 1 回の割で衝撃が生じているが、 $2 \sim 3 \text{ t/mm}^2$ 程度のものが大部分であった。測定期点 PCS 2 で 5.79 t/mm^2 という値を 1 度記録したのが、全計測を通じて最大の衝撃値であった。

衝撃時間 (duration) の頻度分布を示したものが Fig. 2.9 である。ここでは、図中に示すように定義した時間 $\tau_{1/2}$ が 0.1 sec 以下のものののみを衝撃としてとり上げた。 $1/100 \sim 1/50 \text{ sec}$ 程度の衝撃が最も多いようである。衝撃時間と衝撃水圧値との関係を Fig. 2.10 に示す。時間の長いものはすべて衝撃値が低く、衝撃値の高いものはすべて時間がきわめて短い。

船側水圧とそのすぐ近くの船側縦通材応力との比較を Fig. 2.11 に示す。水圧は大きくとも応力はかなり小さく、上述の最大衝撃 5.79 t/mm^2 のときでも応力はわずかに 5 Kg/mm^2 程度であった。図中の斜線は、水圧が静的に加わったものとして、船側パネルを両端固定梁として応力の近似計算を行なったものである。実際には、衝撃の当るのはきわめて狭い範囲で、パネル全体に均一圧がかかるわけではないこ

と、衝撃時間と構造物の動的応答との関連も検討する必要があることなどのために、この線が実測結果に適合しないのは当然である。要するに、今回の計測では、衝撃水圧によって強度上問題になりうるような高応力の発生する可能性はきわめて小さいことが明らかとなった。

2.4.6 非衝撃変動水圧

前項で述べた通り、第2期計測では衝撃水圧はほとんど記録されず、ほとんどすべていわゆる変動水圧のみであった。各水圧計の変動水圧の振幅(※印の水圧計ではzero-to-peak)のRMSおよび最大値を、Tab. 2.3 から再録してTab. 2.5に示す。

中央断面の1番、B断面およびC断面の3番の水圧計は、水線よりも若干下方にあるが、たびたび空中に出て水圧零を示すことが多いので、前述の通りmean-to-peakでなくzero-to-peakの絶対値を用いている。これらの点で絶対置が最大0.5～0.9kg/cm²程度で比較的小さかった。

比較的荒天に遭遇した計測No.156について、B断面左玄の水圧および縦通フレームの応力分布をFig. 2.12に示す。左はRMS値、右は最大振幅を示す。水圧計3番(PBP3)の値のみは振幅でなくzero-to-peakの値をとっているので、mean-to-peakの振幅に相当する値は、若干これよりも小さくなるものと思われる。大体においてSR131で行った水槽試験結果¹⁰⁾に符合する分布形状を示しているものと思われる。

船側の水圧値とそのすぐ近くの船側縦通フレームの応力値との比較をFig. 2.13およびFig. 2.14に示す。Fig. 2.13は第2期計測の1～3次航の全計測のRMS値の比較、Fig. 2.14は計測No.156の中で比較的大きい水圧のピーク値を拾い、それと同時刻の応力値を比較したものである。ただし、応力値から縦方向の波浪曲げ応力を差引く操作はしなかった。図中の直線は、前項で述べた近似計算によるものである。水圧計4番(PBP4)は、水圧計が空中に出て水圧曲線が不連続になることもなく、中立軸に近くて波浪曲げの影響も小さいので非常によく計算の線に符合しているようである。水圧計3番あたりでは、上述の理由により、水圧を過大に読んでいるものと思われる。

2.4.7 スペクトル解析

第2期計測のうち、比較的荒天に遭遇した計測No.156についてのスペクトル解析の例をFig. 2.15およびTab. 2.6に示す。サンプリング間隔0.48secで12分間1,500データの解析を行なったものである。このサンプリング間隔では、衝撃水圧などはとらえられるが、第2期計測ではほとんど衝撃現象を記録していないかった。

表中の右端の欄のバンドパラメタ ϵ は、

$$\epsilon = \sqrt{1 - (T_p/T_o)^2}$$

T_p = P-Pの平均周期

T_o = ゼロクロスの平均周期

で表わされるもので、 $\epsilon = 0$ ($T_p = T_o$)の場合は、ピーク値の頻度分布が完全なレイレイ分布となり、 $\epsilon = 1$ の場合は広帯域スペクトルとなりピーク値の分布がガウス分布となる。海洋波のNeumannスペクトルでは、 $\epsilon = \sqrt{2/3} = 0.82$ となり、大体 $\epsilon < 0.8$ の範囲ではレイレイ分布とみなしてもよいと考えられているようである。Tab. 2.6では波高のバンドパラメタが0.79。その他の各種応答のパラメタも大体0.8以下で、ほぼレイレイ分布に適合しているものと考えられる。

波浪スペクトルと応答スペクトルの双方が揃っているデータの数は少ないが、波高と船体中央上甲板の波浪曲げ応力の双方のバンドパラメタの関係をFig. 2.16に示す。通常レイレイ分布の限界値といわれている0.8を超えているものが多いが、大体において0.8付近にあり、ほぼレイレイ分布に適合しているといつても大過ない程度のものと考えられる。また、波浪と波浪曲げとのバンドパラメタの値は

ほぼ一致しており、船体応答計算において、スペクトルの形を仮定して線型重ねの方法によっている現在の方法の妥当性が裏付けられたものと考えられる。

2.4.8 鉱石圧

荷役による鉱石圧力の変化および航海中の鉱石圧力の変動量を計測するためには、B断面(Fr. 84)の縦通隔壁付きの縦通材の面材に貼りつけたひずみゲージの応力計測を行った。この計測は第1期の計測時にのみ行った。

縦通材の応力から鉱石圧への換算は、計測応力から縦曲げ応力成分を差引き、両端固定梁として Scheide の方法から略算し、縦通隔壁パネルに働く水圧を近似計算した²⁾。

航海中の鉱石圧の動的変動の計測は、変動量が小さく、他の要因による応力変動を分離することができないので、十分な成果を上げることはできなかった。

積荷の前後の計測による積込時の鉱石圧と、荷揚げ前後の計測による荷揚直前の鉱石圧の計測を行ったが、その一例を Fig. 2.17 に示す。図中の直線はクーロンの理論による主動圧の計算²⁾によったものである。計算値が直線的であるのに対して、実測値は鉱石表面付近で計算値より大きく、底部付近で小さくなる傾向がみられるが、大体において計算値と一致しているといってよいようである。

荷揚げ直前の鉱石圧(+印)は大体において積込直後の鉱石圧(0印)よりも小さい傾向はみられるが、航海中の動搖その他による鉱石の静定化の過程を論ずるに足るほどのデータは得られていない。

荷役作業の妨害にならないように鉱石圧を直接計測する適当な手段がないので、縦通隔壁パネル防撓材の応力計測で換算するという間接的方法をとっているため、計測にも他の要因による応力が混入し、必らずしも実際的でない仮定も多く含まれているため、今回の実船計測では残念ながら定量的に十分所期の目的を達したとはいえない難い。むしろ、実験室的に比較的他の要因の混りにくい単純な形で検討する方が好ましいように思われる。

3. 自動計測

3.1 計測船および計測項目

自動計測は Tab. 3.1 に示す 7 隻の船について実施した。鉱石運搬船 4 隻、ばら積船 2 隻、コンテナ船 1 隻である。計測方式は、自動ダイナミックデータ集録装置によるもの 4 隻、自動 R.M.S. 計によるもの 3 隻である。

計測項目も同表に示した通り、船体中央上甲板の波浪曲げ応力を主眼とし、そのほか、船首部の船側縦通材の応力、船首部外板の変動水圧、船体動揺などを計測し、各船それぞれ 3 ~ 4 チャンネルの計測を行った。計測点配置の概要を Fig. 3.1 に示す。

また、各船の計測航海の一覧を Tab. 3.2 に示した。表中の数字は、各船の竣工時から通算した航海次数である。計測はいずれも各船の昭和 49 年度における入渠時をもって終了した。

3.2 計測装置

(1) 水圧ゲージ

「笠木山丸」と「鎌倉丸」では外板に孔をあけて船内に配線する方式のもの、他の 3 隻では、外板に穿孔せず、小型の水圧ゲージを外板に貼付けて船外に配線する方式のものとした。いずれも、受感部はきわめて薄い膜が露出しているタイプであるため、機械的損傷に対しては弱点の多いもので、「ほうとうつた丸」と「千鳥山丸」では途中使用不能となってしまった。「千鳥山丸」での動揺計測は、水圧ゲージ損傷のためその代りとして始めたものである。

(2) 動揺計

動揺計は神戸電波（株）製で、振子とポテンシオメータを利用した簡単なものであるが、長期間の自動計測にきわめて安定した計測成果をあげることができた。

(3) ダイナミック自動データ集録装置

詳細は昭和 47 年度報告³⁾ で述べたが、4 チャンネルの磁気テープ式アナログデータレコーダが主体となっている。計測する 4 チャンネルのうち、1 チャンネルのみは常時過去 15 分間の RMS 値を演算し、その連続打点記録もとっている。荒天になってこの RMS 値がある設定値を越えると、データレコーダが起動して 4 チャンネルの連続記録を 15 分間とり、その後少なくとも 2 時間は休止するようになっている。

比較的応答振幅の大きい荒天時にのみ、再現できるような形で連続記録をとり、異常値・衝撃現象・過渡的現象などをキャッチすることをねらったものである。テープ 1 本で 50 時間の記録が可能で、200 回の記録がとれるようになっている。レコーダ作動時の日時（現地時間）と記録番号も同時に紙テープに印字記録され、気象、海象との対応がとれるようになっている。

(4) 自動 R.M.S. 計

これも詳細は前報³⁾ に譲るが、船体応答の変動振幅のある時間内の R.M.S. 値を演算し、そのときの日時（現地時間）とともに印字記録する装置である。時差修正や日付変更なども、自動的に親時計に順応するようになっている。演算時間は 15 分間ずつ 4 チャンネル（「若幡丸」搭載のものは 20 分間ずつ 3 チャンネル）自動的に切換えて 1 時間で 1 巡し、航海中を通じて 1 時間ごとのデータがとれるようになっている。

表示されるのは、各変動振幅（mean-to-peak） X_i の RMS 値

$$RMS = \sqrt{\sum X_i^2 / N}$$

であるが、実際の演算は、平均値を零として等時間間隔にサンプリングした変動量の瞬時値 X_i の分散（2乗和平均）の平方根に $\sqrt{2}$ を乗じるという方法によっている。

$$R.M.S. = \sqrt{2} \cdot R = \sqrt{\frac{2 \sum x_i^2}{n}} = \sqrt{2 \int_0^T x^2 dt / T}$$

(5) 気象・海象

気象・海象・出合角度および本船状態などは、それぞれの船の当直士官に4時間ごとの記録をとって貰った。応答データとの対応は、この4時間間隔の資料から補間法によって外界条件を推定するという方法をとった。

3.3 自動R.M.S.計による計測結果

3.3.1 概要

自動R.M.S.計による計測では、「千鳥山丸」においては、途中で水圧計測を動搖計測に切換えたのでデータ数がやや少ないが、その他の船では、計器の故障などによる2～4回の欠落を除いては、いずれも長期連続のデータを蓄積することができた。

計測結果の数例をTab. 3.3～Tab. 3.7に示す。Tab. 3.3～Tab. 3.5はそれぞれ「若幡丸」(13.891データ)、「ジャパンオールダ」(10.517データ)、「千鳥山丸」(7,352データ)の上甲板応力のRMSの頻度を、Tab. 3.6は「ジャパンオールダ」の横搖角のRMS(10.518データ)の頻度を、Tab. 3.7は「千鳥山丸」における波浪水圧のRMS(1,709データ)の頻度を示すものである。

いずれも、横軸として目視波高をとり1mごとの区分($n \leq x < (n+1)$ という形)に対応して、縦軸に応答を10段階($n \leq y < (n+1)$ という形)に分け、各区画に該当するデータの数を示したものである。各区画ごとに縦に7段(波高1m以上は6段)、横に3列の数字群が示してある。縦の段は上から平水(出合角不明)・向波・斜前波・横波・斜後波・追波および合計の数、横の列は左から往航バラスト状態・復航満載状態および合計の数を示したものである。

3.3.2 外界条件

(1) 波高分布

自動R.M.S.計による計測船3隻において、本船側に依頼して得られた海象記録中、波高のデータからその頻度分布を示したのがTab. 3.8およびFig. 3.2である。3隻とも主としてオーストラリア航路に就航しているものであるが、「ジャパンオールダ」の場合、波高1m未満の頻度が低いのは、長期間の3国間航路に従事し、太平洋、大西洋を往復しているためかと思われる。

いずれの場合でも、波高3mを越える頻度は10～15%、4mを越える場合は5%、5mを越えるものは1%程度という点では一致している。

(2) 出合角頻度

出合角の頻度分布をFig. 3.3に示す。「ジャパンオールダ」のみ他の2隻と傾向が異なるのは上記と同じ理由によるものと思われる。ここに示したのは、出合角不明の平水に近い場合も含めた総数に対するパーセントで表わしたが、これを除外したものについてみると

	若 帆 丸	ジャパンオールダ	千鳥山丸
向 波	1 6.2	1 0.0	1 1.4
斜 前 波	3 2.8	3 7.3	3 4.5
合 計	4 9.0	4 7.3	4 5.9

となり、向波と斜前波とで各船ともほぼ 50% 程度となっている。

(4) 風力と波高

異なった海域のデータも若干混入しているが、3隻からのデータをすべて集計して、ビューフォート風力階級と目視波高との関係を図示すると、Fig. 3.4 のようになる。平均値は、簡単のため各波高段階の中央の値(1.5, 2.5, 3.5 m等)をとって、それぞれ枠内のデータ数を乗じて算術平均をとったものである。波高 1 m未満のグループには、波高ゼロというデータも多かったが、すべて 0.5 m として計算したので、風力 0 ~ 2 の範囲の平均値は実際にはもう少し低くなるものと思われる。

3.3.3 R.M.S. 値の頻度分布

さきに示した Tab. 3.3 の若帆丸の波浪曲げ応力振幅の RMS を、出合角別に分け、目視波高 1 m ごとの段階に分けた頻度分布を Fig. 3.5 に示す。各枠内の数字はデータ数、棒グラフおよび破線は各波高グループ内での頻度分布、○印は各グループの平均値である。RMS 値は 0.2 Kg/mm^2 幅で 10 段に分けたが、若干 2.0 Kg/mm^2 を超えたものもあったようであるが、当初の設定を途中で変更することをしなかったので、 1.8 Kg/mm^2 以上のはすべて $1.8 \leq x < 2.0$ として処理した。

各波高グループ内での頻度分布は、きわめてばらつきが大きく、しかも從来よく言われているようなガウス分布には適合し難いと思われるものが多い。

各種の出合角のものを合計した all heading の場合が、右列最下段の図であるが、平均点を連ねる線は比較的なめらかな曲線となっている。波高 8 m 以上のところで下っているが、これはわずか 4 データのみの平均点であるから統計的な意味は薄いものと考えられる。

往航バラスト状態と復航満載状態の区分を行ったのが Fig. 3.6 である。各出合角ごとに、破線がバラスト状態、点線が満載状態で、実線がその合計で Fig. 3.5 の線と同じものである。図中の数字はデータ数を示す。大体において荷重状態による応力差はほとんどないといってよいものと思われる。データの大部分を占める波高の低い条件下では、わずかにバラスト状態の方が応力が高いような傾向もみられるが、向い波・斜前波では逆の傾向を示している。波高の大きい場合は、データ数も少ないので結論は下し難いが、満載状態の方が応力が高くなっている。

あらゆる出合角のデータを合計したものについて、同様の操作を他の 2 隻の船についても行い、一括して Fig. 3.7 に示す。波高 7 ~ 8 m を超える場合各船とも低い値が表われているが、きわめてデータ数の少ない部分であるので例外とすれば、それ以下の範囲では 3 船ともきわめて類似した傾向を示している。さきに Fig. 2.7 で示した笠木山丸の結果も図中に併記したが、ほぼ同じ傾向を示している。

3.3.4 長期予測

船体応答の長期の頻度分布または発現確率を予測するには、さきに Fig. 3.5 に示したような波高(または風力)グループごとの頻度分布がガウス分布に適合すると仮定して行っている場合が多いようである。しかし、前述の通り、今回の計測の範囲内では必ずしもガウス分布に適合しているとはいえないでの、別の方法を試みた。

さきに、笠木山丸の応答のスペクトル解析の項でも述べたように、船体の応答もほぼレイレイ分布に

適合していると考えてよさうなので、1時間ごとのRMS値を用いてその時間のレイレイ分布を計算し、これを全航海期間を通じて累積計算を行った。このようにして求めた推定の確率曲線をFig. 3.8に示す。若幡丸・ジャパンオールダ・千鳥山丸3隻ともほぼ同じ傾向を示し、 10^{-8} 回に1回の最大応力振幅は 5.0 Kg/cm^2 程度と考えられる。

最もデータ数の多い若幡丸の場合でも、約14,000時間で $8 \times 10^6 \div 10^7$ 回程度の計測結果からの類推であり、他の船では更にデータ数は少ないが、これまでの数航海程度の計測結果からの予測に比べると確度は大いに上っているものと思われる。

ただし、計測期間が2~3年程度で、気象・海象の長期分布をカバーするには不十分であること、最大値を実測したのではなく、RMS値からレイレイ分布を仮定しての計算値であることなどを考えると、まだ、検討の余地は大いにありそうである。

千鳥山丸とジャパンオールダの動搖角について、同様の長期予測をしたもの(Fig. 3.9)に示す。確率 10^{-8} の最大横搖角は12度、縦搖角は7度程度と想定される。

3.4 自動ダイナミックデータ集録装置による計測結果

3.4.1 概要

本方式による自動計測は4隻の船で行われたが、各船とも計器の不調が目立ち、十分な計測成績をおさめることができなかった。計測記録装置はシーケンシャルなプログラムで動作するようになっているため、どこか1箇所でも故障すると全体に影響し、計測不能となることが多かった。故障は、配線部、増幅部・RMS演算部、計測番号および時刻印字部・テープ巻取部・ヘッド等全般に亘り、特に防振対策・防湿対策などで問題が多かった。防振には特に注意を払い、1・2号機は途中で陸揚げ補修して振動試験を行い、3・4号機は装置全体を作動状態のまま振動台に乗せて長時間テストを行うなどの処置を講じたが、やはりトラブルは多かった。

ほとんど毎回の入港時に訪船して補修の手当を講じ、データの集録に努めたが、残念ながらデータ欠落のものが多く得られたデータもノイズその他でデータ構造の悪いものが多く、解析作業の前処理に多大の時間を要するものが大部分であった。また、このような事情もあって、船側に依頼した気象・海象の記録データも欠落しているものが非常に多い。したがって、入手したデータをまだ解析し終っていないのが実状である。

ここには、これまで処理したうち、コンテナ船鎌倉丸の船首の衝撃水圧に関するもののみを報告する。

3.4.2 衝撃水圧頻度

コンテナ船鎌倉丸では、船首正面に取付けた水圧計でしばしば衝撃水圧が記録されていた。ノイズの多い記録データから高周波の衝撃水圧を分離して電算機処理することは極めて困難であるので、再生オシログラムからの手動解析によった。

衝撃の比較的多いと思われる215回(毎回15分間)の計測について、風力階級別に衝撃水圧値の頻度分布を示したものがTab. 3.9である。外界条件としては風力よりも波高の方が適当と思われるが、波高のデータの欠落が多いので、止むを得ずログブックから求めた風力階級によった。水圧値は、 0.2 Kg/cm^2 ごとの段階で区分したが、0.3と標記してあるのは $0.2 \leq x < 0.4$ の意味である。各枠内の数字は、解析対象とした計測時間(15分×計測回数)内の出現回数、カッコ内の数字は比較対照のため計測時間をすべて30分間にした場合の頻度数である。全体の平均では30分間に44回程度の頻度となっている。

この回数は、さきにFig. 2.11で示した笠木山丸の衝撃水圧の70分間に35回と比べると非常に

多いが、笠木山丸の場合は船側で鎌倉丸は船首正面であること、鎌倉丸は非常に高速であること、鎌倉丸の場合は衝撃の多そうなデータのみ選んで解析したことなどによるものと思われる。

Tab. 3.9 中のカッコ内に示した 30 分間の頻度分布を図示すると Fig. 3.10 のようになる。図の混乱を避けるため、奇数番目の風力階級のものは省略した。風力階級 0 度まで衝撃水圧の最頻値も徐々に高くなり、衝撃回数（各曲線の囲む面積に相当する）も多くなっているが、それ以上の荒天になると逆に最頻値も低下し、総数も少なくなっている。最大衝撃水圧値についてもほぼ同様の傾向がみられる。操舵回頭・減速などの処置によって荒天を回避している結果と思われる。

棒グラフは全データ合計のもので、 0.5 Kg/cm^2 程度が最頻値、 2.1 Kg/cm^2 程度が最大値となっている。

4. あとがき

「笠木山丸」の総合実船計測では、第1期、第2期各5航海ずつ、計10航海の計測を行った。当初の標題に掲げた鉱石圧に関する測定は、第1期のみ行い、第2期はブイによる波浪計測と水圧計による波浪水圧の計測に重点を置いた。

波浪計測では、波スペクトルが求められる形で相当数のデータは得られたが、計画したブイの箇数からみると必ずしも満足すべき結果ではなかった。ただ、水圧計測も、航海のほとんどがオーストラリア航路で、特にはげしい荒天に遭遇することがなかったこと、第2期には船速の低減が目立つことなどもあって、衝撃水圧の顕著なものはあまり記録されず、特に第2期ではほとんど皆無に近かった。

その他の変動水圧・船体運動、船体応力などの計測は、ほぼ所期の目的を達し、波浪と応答または応答相互間の相関などについても、ほぼ理論解析や水槽試験などの結果を裏付ける解析結果をうることができた。

自動RMS計による3隻の船の自動計測は、きわめて順調に終始し、長期連続の多くのデータを集積することができ、波浪曲げ応力その他の長期予測の足がかりをうることができた。

自動ダイナミックデータ集録装置による4隻の船の自動計測では、計器の不調その他のため、きわめて不十分なデータしか得られなかつた。得られたデータも解析に非常に手数のかかる不完全なものが多く、解析作業はまだ終了していない。

反省を兼ねて今後の問題点として考えられる点を以下に述べる。

- (1) 実船計測のようなほう大な量のデータを取扱う研究計画では、計測後の解析処理の設備、時間、労力および予算などについて、これまでの慣行を無視しても十分過ぎる程度の手当をしておく必要がある。
今回の研究でも、残念ながら予備的な1次解析を漸く終って計測結果を整理提示したという域をいくらも脱していいのが実情である。さらに進んで、理論的、実験研究との精密な対比を行い、「構造計算法」に役立て、構造設計に資するためには、2次・3次の解析作業が大量に残されているといつてよい。
- (2) 「総合」といっても、ややミクロの解析を行おうとする場合には、焦点を必要最少限に絞って、集中的に小規模の計測計画とする方が効果的である。特に営業航海に従事している商船に便乗しての計測では、計測条件の自由度なども制約されることが多いので、あまり間口を拡げても却って効率の悪い計測となる恐れがある。
- (3) 波浪計による波浪データ、スペクトルが求められる形での波浪情報の集積に対する要望は依然としてきわめて大きい。今回の計測は必らずしも十分ではなかつたが、その結果から、さらに信頼度の高い簡便な波浪ブイによる長期の半自動計測への途は十分開かれているものと考える。
- (4) 自動RMS計での長期連続計測はほぼ成功したといえるが、長期予測を行うためには、短期分布のRMSだけでなく最大値も記録する方式とした方がよかつたと思う。記録も印字ではなく、そのまま処理装置にかけられるようパンチテープ方式とした方がより効果的であったと思う。
- (5) 自動ダイナミックデータ集録装置は不満足な結果に終つたが、計測終期には問題点も十分解明され、ほぼ順調に動作するようになった。シーケンスをさらに単純化することで十分信頼性のある装置となりうるものと考える。生のデータをいつでも再生できる形で記録しておき、あとで任意の解析処理に対応できるようにしておくというこの方式も、場合によってはきわめて有効なものと考えられる。

終りに、長期間にわたる実船計測に多大の御協力をいただいた、日本船主協会、「笠木山丸」・「ぼうとらった丸」・「千秋丸」・「鎌倉丸」・「若幡丸」・「ジャパンオールダ」・「千鳥山丸」の関係者各位、ならびに計測および解析担当者およびそれの所属機関の関係者各位に対して、深く謝意を表する次第である。

また、総合実船試験は第132研究部会の緊密な協力を得てはじめて実施できたもので、準備段階から終始
一体となって作業を行ってきた田宮部会長以下委員各位の長期間の協力に深く感謝する次第である。

参考文献

- | | | | | | |
|------------|---|-------------------------------------|--------------|-----|-----------|
| 1) SR 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, 46.3 |
| 2) SR 124 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 156, 47.3 |
| 3) SR 124 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 170, 48.3 |
| 4) SR 124 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 187, 49.3 |
| 5) SR 124 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 210, 50.3 |
| 6) SR 132 | ： | “実船搭載用波浪計に関する研究” | 同 上 | No. | 164, 47.3 |
| 7) SR 132 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 177, 48.3 |
| 8) SR 132 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 193, 49.3 |
| 9) SR 132 | ： | 同 上 | 同 上 | No. | 214, 50.3 |
| 10) SR 132 | ： | 同 上 | 日本造船研究協会報告 | No. | 82, 51.7 |
| 11) SR 131 | ： | 波浪外力に関する水槽試験 | 日本造船研究協会研究資料 | No. | 176, 48.3 |

Tab. 2.1 Voyages for Measurements (KASAGISAN MARU)

Number of Voyages for Measurement		Ship's Voyage Number	Time and Route				
I	1 st	2 nd	Jan. 26, 1971	--->	Chile	--->	March 26, 1971
	2 nd	6 th	June 13, "	--->	Australia	--->	July 11, "
	3 rd	7 th	July 14, "	--->	"	--->	Aug. 8, "
	4 th	8 th	Aug. 12, "	--->	West Africa	--->	Oct. 4, "
	5 th	9 th	Oct. 11, "	--->	Australia	--->	Nov. 3, "
II	1 st	33 rd	Dec. 15, 1973	--->	"	--->	Jan. 9, 1974
	2 nd	34 th	Jan. 15, 1974	--->	"	--->	Feb. 26, "
	3 rd	35 th	March 1, "	--->	"	--->	March 31, "
	4 th	40 th	Aug. 25, "	--->	"	--->	Sept. 25, "
	5 th	41 st	Sept. 30, "	--->	"	--->	Oct. 23, "

Tab. 2.2 Measuring Points on KASAGISAN MARU

Measuring Points		Aft. (Measuring Room)	Midship Fr.64	B-Section Fr.84	C-Section Fr.88	Fore Peak	Total
Wave *	Wave Height	1					1
	Wave Direction	1					1
Ship Motion	Pitch Roll Yaw Heave	4					4
Wave Pressure	Pressure on Side Shell		2	6	9	1	18
	Stress of Side Longl. Frame			4	6		10
Acceleration	Vertical Acc.		3			1	4
Ore Pressure	Stress of Bhd. Longl. Frame			5			5
Wave Bending Stress	Stress of Upp. Deck		2	1			3
Automatic Measure.	Stress of Upp. Deck		1				1
Total		6	8	16	15	2	47

* Measured by Committee SR-132

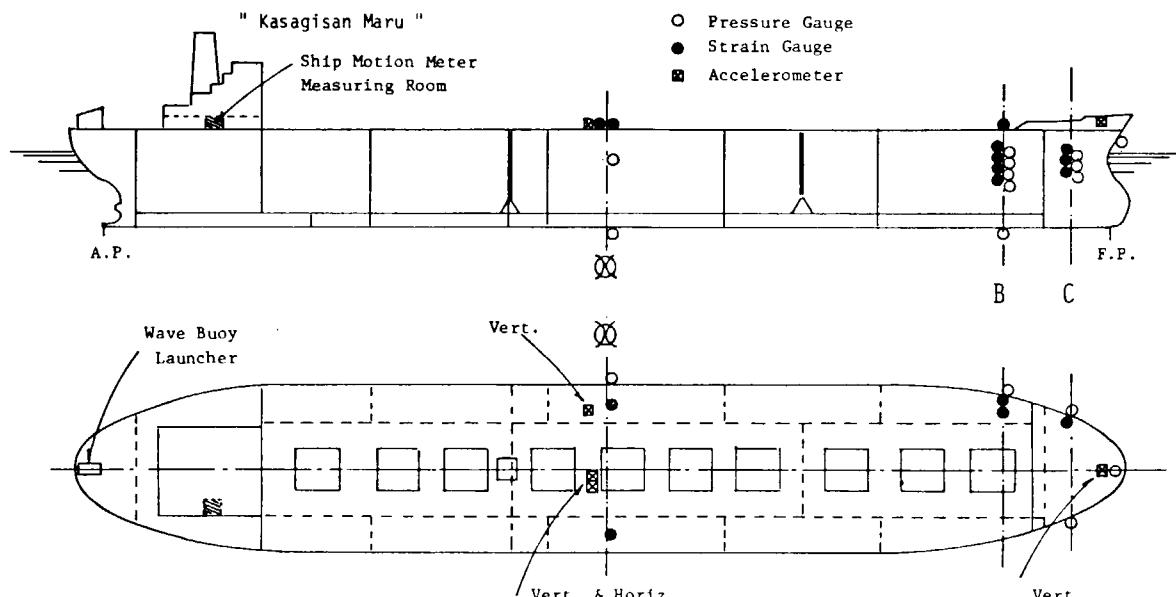


Fig. 2.1 Arrangement of Measuring Points ("Kasagisan Maru")

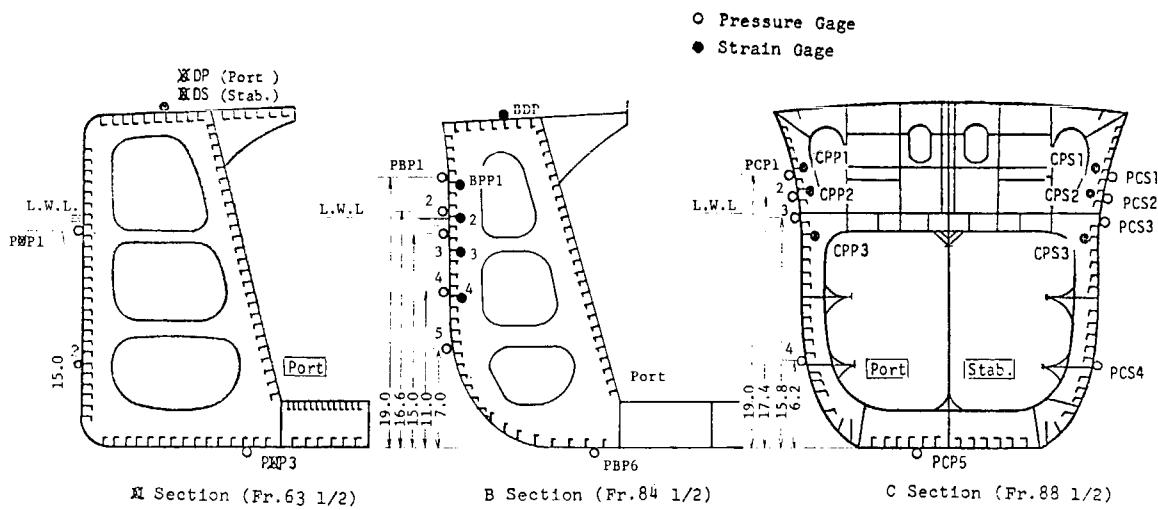


Fig. 2.2 Arrangement of Pressure and Strain Gauges

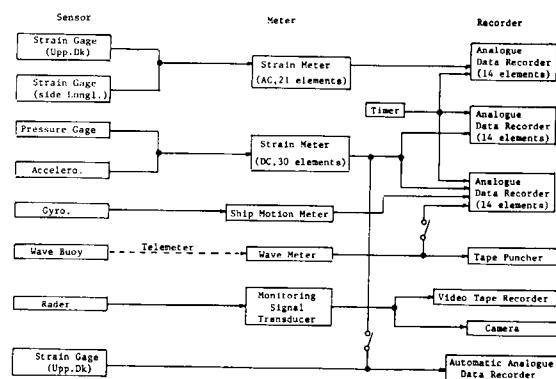


Fig. 2.3 Diagram of Measuring and Recording System

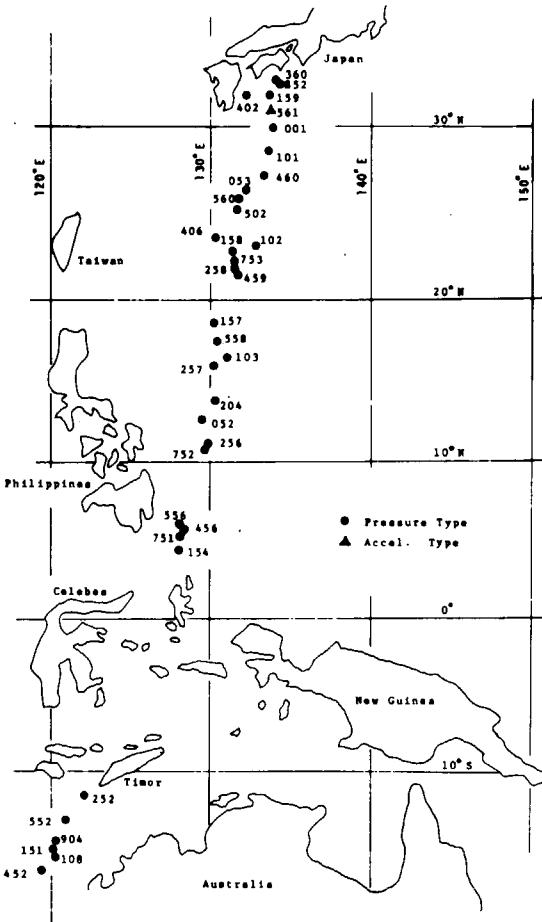


Fig. 2.4 Position of Wave Measurements by Wave Buoys

Tab. 2.3 (1) RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (1)
(Wave, Ship Motion and Wave Bending Stress)

No. of Measurement	Date	Swell (Visual)	Height (m)	Upw. Dk. Stress				Rolling				Pitching				Wave					
				BDP		BDP		PEP100		PEP100		CFS		CFS		CFD		CFD			
				KGS/M ²	MPS	CFS	CFS	CFS	CFS	CFS	CFS	CFS									
1ST	12/16 10:00	4.0	8.0	100	7.0	0.11	1.77	3.6	0.10	0.38	5.9	0.45	1.55	11.1	0.45	1.62	8.2	0.45	1.62		
101	12/16 3:15	6.0	6.0	100	7.0	0.10	1.73	7.0	0.13	0.40	7.8	1.15	2.00	12.4	0.45	1.66	9.5	0.45	1.66		
102	12/17 2:00	2.0	12.0	125	6.0	0.06	1.57	9.4	0.09	0.27	11.2	1.35	2.12	14.9	0.45	1.67	10.5	0.45	1.67		
103	12/18 3:15	5.0	12.0	230	6.0	0.07	1.72	10.6	0.13	0.27	11.2	1.35	2.12	14.9	0.45	1.67	10.5	0.45	1.67		
104	12/19 2:00	2.0	290	5.0	0.37	0.89	6.0	0.08	0.25	8.5	1.05	1.80	11.7	0.27	0.56	8.5	0.27	0.56			
105	12/20 1:00	6.0	220	4.0	0.49	1.66	11.5	0.08	0.25	8.2	1.15	1.92	11.4	0.27	0.56	8.2	0.27	0.56			
106	12/21 1:00	8.0	150	2.0	0.12	1.30	1.9	0.03	0.07	2.4	1.05	1.43	7.5	0.11	0.36	9.2	0.11	0.36			
107	12/22 1:00	7.5	165	4.0	0.09	1.34	4.5	0.03	0.22	4.6	1.15	1.34	10.7	0.07	0.34	5.7	0.07	0.34			
108	12/23 1:00	6.0	40	1.0	0.19	0.50	3.3	0.08	0.22	2.6	1.05	1.25	6.0	0.07	0.34	3.7	0.07	0.34			
109	12/24 1:00	4.0	40	3.0	0.19	0.34	6.1	0.11	0.10	0.09	6.2	1.05	1.17	6.0	0.13	0.27	6.1	0.13	0.27		
151	12/28 4:00	9.7	40	-	-	-	-	-	-	-	6.9	0.70	1.40	10.9	0.20	0.53	6.3	0.20	0.53		
152	12/29 3:15	10.0	270	-	-	-	-	-	-	-	6.0	0.70	1.40	10.9	0.20	0.53	6.3	0.20	0.53		
153	12/31 1:00	5.0	270	-	-	-	-	-	-	-	6.7	0.70	1.40	10.9	0.20	0.53	6.3	0.20	0.53		
154	1/01 2:00	2.5	9.0	220	1.0	0.28	0.65	11.0	0.20	0.21	11.4	0.70	1.82	6.4	0.38	0.80	7.2	0.38	0.80		
155	1/01 1.5	8.0	210	1.0	0.29	0.69	11.0	0.15	0.33	7.0	0.65	1.15	11.7	0.23	0.56	7.1	0.23	0.56			
156	1/01 1.0	8.0	350	7.0	0.15	1.18	5.0	0.24	0.54	6.4	1.65	1.34	9.2	0.27	0.66	6.4	0.27	0.66			
157	1/01 4:00	8.0	28	7.0	0.15	1.33	3.8	0.14	0.34	5.1	1.45	1.45	10.5	0.14	0.34	1.45	0.14	0.34			
158	1/06 2:15	7.0	40	6.0	0.29	0.75	4.8	0.14	0.41	7.2	0.58	1.84	9.3	0.42	1.07	9.1	0.42	1.07			
159	1/06 2:15	7.0	25	4.0	0.39	0.90	7.2	0.19	0.40	8.2	0.45	1.94	10.3	0.46	1.07	12.5	0.46	1.07			
160	1/08 2:15	8.0	5	4.0	0.12	0.65	8.4	0.26	10.9	10.9	0.45	1.45	10.4	0.45	1.45	10.4	0.45	1.45			
201	1/16 2:15	2.5	8.0	40	0.26	0.76	6.4	0.19	0.40	10.6	1.45	2.29	9.3	0.59	1.27	10.4	0.59	1.27			
601	1/16 3:00	9.0	135	5.0	0.19	0.41	5.7	0.07	0.12	9.3	1.54	6.23	11.2	0.55	1.41	11.9	0.55	1.41			
202	1/17 2:25	6.0	9.0	5.0	0.24	0.56	4.5	0.07	0.14	7.2	1.25	4.00	12.9	0.50	1.25	11.0	0.50	1.25			
203	1/18 2:25	8.0	280	3.0	0.05	0.34	6.0	0.05	0.13	5.0	1.45	4.7	13.1	0.45	1.05	13.3	0.45	1.05			
204	1/19 2:25	9.0	250	5.0	0.22	0.62	6.1	0.12	0.28	8.0	1.52	3.10	12.3	0.33	0.75	11.2	0.33	0.75			
205	1/20 3:00	7.0	320	5.0	0.15	0.47	6.1	0.07	0.24	8.0	1.02	3.11	12.3	0.40	1.01	9.6	0.40	1.01			
206	1/20 0:45	7.0	35	2.0	0.15	0.32	3.7	0.06	0.24	9.4	1.05	1.9	14.2	0.45	0.95	9.5	0.45	0.95			
207	1/22 0:00	0.0	0	1.0	0.02	0.02	2.7	0.01	0.02	9.4	0.95	1.7	13.0	0.18	0.45	9.4	0.18	0.45			
208	1/25 0:00	0.0	0	4.0	0.13	3.2	0.02	0.03	1.3	7.5	1.19	5.3	13.0	0.10	0.18	16.3	0.10	0.18			
209	1/26 3:00	3.0	9	5.0	0.44	1.92	7.2	0.23	0.30	7.2	0.94	2.27	10.8	0.48	0.97	10.8	0.48	0.97			
210	1/26 3:00	9.0	7.5	5.0	0.44	1.93	3.2	0.09	0.23	5.4	1.72	3.61	11.3	0.48	0.98	11.3	0.48	0.98			
2ND	2/16 2:15	2.0	8.0	190	3.0	0.05	0.34	6.0	0.05	0.12	9.3	1.54	6.23	11.2	0.55	1.41	11.9	0.55	1.41		
252	2/17 2:15	2.0	8.0	0	0.25	0.41	5.0	0.34	0.56	7.2	1.25	4.00	12.9	0.50	1.25	11.0	0.50	1.25			
253	2/18 1:00	9.0	280	2.0	0.05	0.34	6.0	0.05	0.12	9.3	1.54	6.23	11.2	0.55	1.41	11.9	0.55	1.41			
254	2/19 3:00	8.0	30	3.0	0.22	0.65	3.4	0.06	0.16	6.1	1.16	6.63	8.2	0.09	0.17	8.2	0.09	0.17			
255	2/21 4:00	4.0	40	0.0	0.46	1.13	5.1	0.12	0.26	6.4	1.65	2.98	9.3	0.22	0.45	8.3	0.22	0.45			
256	2/21 4:05	4.0	6.0	0	0.46	1.13	5.1	0.12	0.27	6.4	1.65	2.98	9.3	0.22	0.45	8.3	0.22	0.45			
652	2/21 4:55	4.0	6.0	0	0.47	1.14	5.1	0.12	0.27	6.4	1.65	2.98	9.3	0.22	0.45	8.3	0.22	0.45			
257	2/22 3:00	8.0	70	3.0	0.45	1.28	4.3	0.15	0.28	19.6	1.42	2.73	9.7	0.21	0.45	9.7	0.21	0.45			
258	2/23 3:00	9.0	150	3.0	0.45	1.28	4.3	0.15	0.28	19.6	1.42	2.73	9.7	0.21	0.45	9.7	0.21	0.45			
259	2/24 3:00	3.0	350	2.0	0.16	1.15	8.6	0.13	0.25	15.3	2.41	4.27	12.7	0.67	1.30	11.5	0.67	1.30			
260	2/26 5:00	8.0	20	6.0	0.13	0.38	3.1	0.04	0.12	9.6	1.64	3.14	9.6	0.12	0.27	8.3	0.12	0.27			
306	3/07 0:00	0.0	0	0	0	0.05	0.18	6.0	0.05	0.05	5.8	0.66	0.18	7.5	0.09	0.29	8.3	0.09	0.29		
653	2/26 5:00	8.0	170	3.0	0.12	0.37	5.9	0.03	0.08	5.0	5.0	1.25	13.7	0.12	0.27	13.7	0.12	0.27			
301	3/07 0:00	0.0	0	0	0	0.05	0.11	4.6	0.02	0.03	5.0	5.0	1.25	13.7	0.04	0.16	2.1	0.04	2.1		
701	3/02 2:00	5.0	220	2.0	0.27	0.76	13.9	0.07	0.16	9.1	1.40	2.25	12.6	0.40	0.79	10.0	0.40	0.79			
303	3/03 4:00	10.0	260	5.0	0.42	1.14	3.2	0.13	0.32	7.2	2.77	5.28	16.1	1.50	3.30	7.0	1.50	3.30			
304	3/04 5:00	10.0	250	6.0	0.46	1.13	3.2	0.14	0.33	10.2	3.15	5.71	12.6	0.69	1.52	9.0	0.69	1.52			
702	3/04 3:55	9.0	245	5.0	0.34	1.14	3.2	0.14	0.33	12.2	3.15	5.71	12.6	0.69	1.52	9.0	0.69	1.52			
303	3/05 5:00	10.0	235	4.0	0.34	1.14	3.2	0.14	0.33	12.2	3.15	5.71	12.6	0.69	1.52	9.0	0.69	1.52			
306	3/06 5:00	11.0	230	4.0	0.34	1.14	3.2	0.14	0.33	12.2	3.15	5.71	12.6	0.69	1.52	9.0	0.69	1.52			
307	3/07 0:00	0.0	0	0	0	0	0.05	0.18	6.0	0.05	0.05	5.8	0.66	0.18	7.5	0.09	0.29	8.3	0.09	0.29	
352	3/22 1:00	7.0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
353	3/22 1:45	15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
354	3/22 4:00	15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
355	3/22 4:30	2.0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
310	3/16 0:00	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
351	3/21 1:00	8.0	310	4.0	0.16	0.44	4.9	0.06	0.15	9.9	0.22	0.67	8.7	0.12	0.35	6.9	0.12	0.35	5.8	0.12	0.35
352	3/21 2:00	1.0	8.0	310	4.0	0.16	0.44	4.9	0.06	0.15	9.9	0.22	0.67	8.7	0.12	0.35	6				

Tab. 2.3 (2) RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (2)
 (Wave Pressure of Midship Section and B-Section)

Swell (visual)	Angle of incidence (deg)	Side Shell Pressures		Pressure Gages with * marks are located above or near the water line. Pressure values of them are not the amplitudes (mean-to-peak) but the absolute value off zero-to-mean.											
		PBP-1		PBP-2		PBP-3		PBP-4		PBP-5		PBP-6		PBP-7	
		MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)	MAX. KGS/CM ²	PERIOD (SEC)
101	12/16 4.0	8.0	100	7.0	0.03	8.5	0.03	8.5	0.03	8.5	0.03	8.5	0.03	8.5	0.03
102	12/17 2.0	8.0	120	6.0	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04
103	12/18 3.5	12.0	165	6.7	0.01	12.0	0.02	12.0	0.01	12.0	0.01	12.0	0.01	12.0	0.01
104	12/19 2.0	8.0	230	5.6	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04
105	12/20 1.5	8.0	240	4.8	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04	8.5	0.04
106	12/21 1.5	8.0	180	2.0	0.02	8.5	0.02	8.5	0.02	8.5	0.02	8.5	0.02	8.5	0.02
107	12/21 1.0	7.5	165	1.4	0.02	7.5	0.02	7.5	0.02	7.5	0.02	7.5	0.02	7.5	0.02
108	12/24 1.0	6.0	40	1.4	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02
109	12/26 1.0	6.0	30	1.4	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02
110	12/29 4.0	9.9	40	5.6	0.03	7.0	0.03	7.0	0.03	7.0	0.03	7.0	0.03	7.0	0.03
111	12/30 6.0	9.9	30	7.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
112	12/30 3.5	9.0	270	6.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
113	12/31 1.0	5.0	210	6.0	0.01	5.0	0.01	5.0	0.01	5.0	0.01	5.0	0.01	5.0	0.01
114	1/02 2.5	9.0	230	1.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
115	1/03 1.5	6.0	200	0.01	6.0	0.01	6.0	0.01	6.0	0.01	6.0	0.01	6.0	0.01	
116	1/04 7.0	8.0	390	7.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
117	1/05 4.0	8.0	30	7.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
118	1/06 2.5	7.0	40	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02
119	1/07 2.5	7.0	25	6.0	0.03	6.0	0.03	6.0	0.03	6.0	0.03	6.0	0.03	6.0	0.03
120	1/08 2.5	8.0	5	4.0	0.03	4.0	0.03	4.0	0.03	4.0	0.03	4.0	0.03	4.0	0.03
121	1/09 2.5	8.0	40	4.0	0.02	4.0	0.02	4.0	0.02	4.0	0.02	4.0	0.02	4.0	0.02
122	1/10 0.0	0.0	0	4.0	0.01	4.0	0.01	4.0	0.01	4.0	0.01	4.0	0.01	4.0	0.01
123	1/11 2.5	8.0	150	5.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
124	1/12 2.5	8.0	150	5.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
125	1/13 2.5	8.0	90	5.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
126	1/14 2.5	8.0	200	3.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02
127	1/15 2.5	9.0	250	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
128	1/16 2.5	9.0	200	3.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
129	1/17 2.5	6.0	90	5.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02	6.0	0.02
130	1/18 2.5	8.0	190	3.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02
131	1/19 2.5	9.0	250	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
132	1/20 3.0	7.0	210	5.0	0.02	7.0	0.02	7.0	0.02	7.0	0.02	7.0	0.02	7.0	0.02
133	1/21 0.8	7.0	115	2.0	0.01	7.0	0.01	7.0	0.01	7.0	0.01	7.0	0.01	7.0	0.01
134	1/22 0.0	0.0	0	1.0	0.01	1.0	0.01	1.0	0.01	1.0	0.01	1.0	0.01	1.0	0.01
135	1/23 2.5	8.0	150	5.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
136	1/24 2.5	8.0	150	5.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03	8.0	0.03
137	1/25 2.5	3.0	90	5.0	0.02	3.0	0.02	5.0	0.02	5.0	0.02	5.0	0.02	5.0	0.02
138	1/26 3.0	9.0	75	5.0	0.03	9.0	0.03	9.0	0.03	9.0	0.03	9.0	0.03	9.0	0.03
139	1/27 2.0	8.0	190	3.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02
140	1/28 2.0	8.0	250	5.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02	8.0	0.02
141	1/29 2.0	9.0	150	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
142	1/30 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
143	1/31 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
144	1/32 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
145	1/33 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
146	1/34 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
147	1/35 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
148	1/36 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
149	1/37 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
150	1/38 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
151	1/39 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
152	1/40 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
153	1/41 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
154	1/42 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
155	1/43 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
156	1/44 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
157	1/45 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
158	1/46 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
159	1/47 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
160	1/48 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
161	1/49 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
162	1/50 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
163	1/51 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
164	1/52 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
165	1/53 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
166	1/54 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
167	1/55 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
168	1/56 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
169	1/57 2.0	9.0	170	5.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02	9.0	0.02
170	1/58 2.0	9.0	170	5.0	0.02										

Tab. 2.3 (3) RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (3)
 (Wave Pressure of C-Section and F.P. Section)

Swell (visual)	Date	Height (m)	Period (sec)	Side Shell Pressures												F.P. Pressure								
				PCP-1 *			PCP-2 *			PCP-3 *			PCP-4			PCP-5								
				RMS	KG/CM ²	MAX	RMS	KG/CM ²	MAX	RMS	KG/CM ²	MAX	RMS	KG/CM ²	MAX	RMS	KG/CM ²	MAX						
1	12/16 4.0	8.0	100	7	0.01	0.02	5.8	0.01	6.6	0.08	0.22	7.5	0.03	0.09	7.2	0.03	0.09	10.1	0.04	0.12	10.9			
101	12/16 3.5	8.0	120	6	0.00	0.01	5.0	0.01	5.6	0.09	0.21	9.1	0.04	0.19	10.1	0.04	0.19	11.0	0.04	0.19	11.9			
102	12/17 2.0	12.0	165	6	0.00	0.01	4.0	0.01	5.6	0.09	0.21	9.1	0.04	0.19	10.1	0.04	0.19	11.0	0.04	0.19	11.9			
103	12/18 3.5	10.0	235	6	0.05	0.56	4.5	0.01	4.5	0.21	0.61	5.2	0.04	0.39	6.7	0.04	0.39	11.0	0.04	0.39	11.9			
104	12/19 2.0	8.0	290	5	0.04	0.09	4.4	0.01	4.2	0.09	0.19	6.0	0.03	0.06	13.0	0.03	0.06	13.4	0.03	0.06	13.8			
105	12/20 1.5	8.0	220	4	0.04	0.09	7.7	0.01	0.02	4.2	0.09	0.03	0.04	8.8	0.02	0.04	6.1	0.02	0.05	7.7				
106	12/21 1.0	8.0	180	2	0.01	0.02	3.7	0.01	3.7	0.01	0.01	3.8	0.01	0.02	3.2	0.01	0.02	3.7	0.01	0.02	3.8			
107	12/23 1.0	6.0	40	1	0.01	0.02	4.8	0.01	0.01	3.4	0.01	0.01	3.0	0.01	0.02	2.7	0.01	0.02	3.0	0.01	0.02	3.0		
108	12/26 1.0	4.0	30	1	0.01	0.02	4.5	0.01	0.01	3.7	0.01	0.01	4.2	0.01	0.02	5.1	0.01	0.02	5.4	0.01	0.02	5.5		
109	12/29 4.0	6.0	30	1.01	C.01	2.9	0.01	2.7	0.01	0.08	2.4	0.01	0.07	7.4	0.01	0.03	6.7	0.03	0.08	6.9	0.04	0.10	7.0	
110	12/30 6.0	9.9	40	7	0.01	0.02	6.6	0.01	6.6	0.14	0.33	7.0	0.01	0.14	9.6	0.03	0.05	5.6	0.03	0.08	6.7	0.04	0.11	7.0
111	12/30 3.5	10.0	270	6	0.00	0.01	6.0	0.01	6.0	0.10	0.34	8.0	0.01	0.31	8.5	0.02	0.04	6.1	0.02	0.05	7.0	0.04	0.12	7.2
112	12/31 1.0	5.0	270	6	0.00	0.01	6.0	0.01	6.0	0.10	0.34	7.5	0.01	0.30	7.0	0.02	0.04	6.4	0.02	0.05	7.0	0.04	0.12	7.2
113	1/03 2.5	9.0	220	1	0.00	0.01	6.0	0.01	6.0	0.10	0.34	7.5	0.01	0.30	7.0	0.02	0.04	6.5	0.02	0.05	7.0	0.04	0.12	7.2
114	1/03 1.5	8.0	210	2	0.00	0.01	6.0	0.01	6.0	0.10	0.34	7.5	0.01	0.30	7.0	0.02	0.04	6.5	0.02	0.05	7.0	0.04	0.12	7.2
115	1/04 1.0	8.0	210	1	0.00	0.01	6.0	0.01	6.0	0.10	0.34	7.5	0.01	0.30	7.0	0.02	0.04	6.5	0.02	0.05	7.0	0.04	0.12	7.2
116	1/04 4.0	8.0	345	7	0.01	0.02	6.5	0.01	6.5	0.15	0.35	6.1	0.01	0.15	5.9	0.03	0.06	4.6	0.03	0.09	5.0	0.04	0.17	4.2
117	1/09 2.0	8.0	30	1	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
118	1/09 2.5	7.0	40	6	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
119	1/09 2.5	7.0	25	4	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
120	1/09 2.5	8.0	30	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
121	1/09 2.5	8.0	40	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
122	1/09 2.5	8.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
123	1/16 2.5	8.0	150	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
124	1/16 3.0	8.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
125	1/17 2.0	6.0	90	3	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
126	1/17 2.5	8.0	280	3	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
127	1/18 2.5	8.0	250	4	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
128	1/19 2.5	8.0	250	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
129	1/20 1.8	7.0	230	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
130	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
131	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
132	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
133	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
134	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
135	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
136	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
137	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
138	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
139	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
140	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
141	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
142	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
143	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
144	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
145	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2	0.03	0.08	5.0
146	1/21 2.0	7.0	135	5	0.01	0.02	6.0	0.01	6.0	0.17	0.37	5.1	0.01	0.18	5.8	0.02	0.06	5.1	0.02	0.08	5.2			

Tab. 2.3 (4) RMS and Max. Value of Amplitude and Mean Period (4)
(Stress of Side Longitudinal Frames)

Date	No. of Measurement	Swell (Visual)	Height (m)	Period (sec)	BPP-1	BPP-2	BPP-3	BPP-4	Side Shell Stress				CFS-1	CFS-2					
									RMS (KG/M ²)	Max. (KG/M ²)	Period (sec)	Peak (KG/M ²)	RMS (KG/M ²)	Max. (KG/M ²)	Period (sec)	Peak (KG/M ²)			
1	12/16 4.0	8.0	100	7	0.21 0.63	6.1	0.20 0.60	6.4	6.1	0.21 0.64	6.6	0.10 0.20	6.9	0.08 0.19	9.4	0.34 0.43	4.0	0.05 0.15	5.3
101	12/16 3.0	8.0	120	6	0.19 0.56	7.4	0.18 0.50	6.5	6.1	0.22 0.47	6.9	0.08 0.20	6.9	0.13 0.13	5.6	0.05 0.13	5.6		
102	12/17 2.0	12.0	165	6	0.15 0.38	7.2	0.13 0.38	6.9	6.1	0.25 0.44	7.4	0.09 0.16	6.7	0.13 0.13	5.6	0.04 0.13	5.6		
103	12/18 3.0	10.0	17	6	0.21 0.60	6.0	0.25 0.51	6.0	6.1	0.25 0.51	6.0	0.09 0.20	9.1	0.12 0.20	10.1	0.12 0.32	4.5		
104	12/19 2.0	8.0	240	5	0.28 0.19	6.5	0.20 0.20	7.9	6.1	0.20 0.15	6.4	0.04 0.12	7.5	0.09 0.09	4.5	0.03 0.11	5.1		
105	12/20 1.5	8.0	220	4	0.08 0.24	6.9	0.06 0.20	6.9	6.1	0.05 0.14	6.9	0.03 0.09	4.2	0.03 0.08	4.2	0.02 0.08	3.5		
106	12/21 1.0	6.0	180	3	0.03 0.09	6.1	0.04 0.11	6.9	6.1	0.03 0.08	6.1	0.03 0.08	6.1	0.03 0.07	2.1	0.02 0.06	2.1		
107	12/22 1.0	7.5	165	4	0.03 0.09	6.0	0.03 0.09	5.9	6.1	0.02 0.07	5.2	0.02 0.06	2.9	0.02 0.06	2.1	0.02 0.06	2.1		
108	12/24 1.0	6.0	40	1	0.09 0.26	5.6	0.09 0.26	5.6	6.1	0.09 0.21	5.0	0.02 0.06	3.4	0.04 0.08	4.3	0.03 0.08	4.3		
109	12/24 1.0	6.0	30	3	0.05 0.15	6.4	0.05 0.15	6.4	6.1	0.05 0.15	7.0	0.05 0.15	4.0	0.04 0.11	4.6	0.04 0.11	4.6		
110	12/29 4.0	9.9	40	6	0.13 0.32	5.9	0.13 0.31	5.1	6.1	0.13 0.31	5.1	0.05 0.14	7.0	0.05 0.11	3.7	0.03 0.06	4.4		
111	12/30 6.0	9.9	30	7	0.24 0.54	8.2	0.38 0.06	7.4	6.1	0.86 0.63	7.6	0.16 0.31	9.3	0.19 0.47	7.5	0.34 0.51	5.4		
112	12/30 3.0	10.0	270	6	0.11 0.28	6.6	0.13 0.45	5.6	5.9	0.12 0.25	6.2	0.06 0.16	4.8	0.18 0.33	5.9	0.23 0.65	4.6		
113	12/31 1.0	5.0	270	6	0.02 0.12	6.0	0.12 0.29	13.5	6.1	0.06 0.20	5.0	0.01 0.16	6.1	0.16 0.41	5.0	0.18 0.33	5.0		
114	1/02 2.0	9.0	210	2	0.19 0.45	6.7	0.18 0.45	5.8	6.1	0.19 0.45	5.8	0.06 0.16	6.1	0.16 0.38	4.5	0.13 0.38	4.5		
115	1/03 1.5	8.0	350	7	0.36 0.45	6.1	0.27 0.27	5.1	6.1	0.16 0.35	5.1	0.02 0.08	4.5	0.03 0.14	4.5	0.02 0.08	4.5		
116	1/04 4.0	8.0	345	7	0.33 0.88	5.8	0.38 1.3	5.0	5.5	0.35 1.31	4.2	0.16 0.45	4.3	0.28 0.86	3.8	0.37 1.48	4.2		
117	1/05 4.0	8.0	30	7	0.21 0.52	4.8	0.27 0.82	4.0	6.1	0.18 0.65	4.3	0.13 0.40	4.5	0.26 0.66	5.0	0.37 1.41	4.7		
118	1/06 2.5	7.0	40	6	0.12 0.33	4.5	0.24 0.89	4.2	3.9	0.21 0.49	3.1	0.15 0.58	3.6	0.24 0.65	3.0	0.24 0.65	3.0		
119	1/07 2.5	7.0	25	4	0.06 0.26	6.0	0.07 0.27	5.7	4.0	0.06 0.19	5.0	0.16 0.41	6.7	0.13 0.37	4.3	0.19 0.50	4.7		
120	1/08 2.5	8.0	5	4	0.13 0.31	7.4	0.10 0.21	5.0	7.0	0.12 0.25	5.6	0.07 0.11	6.3	0.07 0.15	6.5	0.11 0.25	4.8		
121	1/08 2.5	8.0	50	4	0.12 0.27	8.2	0.18 0.40	8.2	7.0	0.20 0.51	4.3	0.12 0.27	7.5	0.11 0.20	7.5	0.17 0.42	4.2		
122	1/09 2.0	8.0	150	7	0.09 0.15	5.4	0.07 0.22	5.2	6.1	0.06 0.16	5.6	0.03 0.08	4.2	0.03 0.05	4.2	0.02 0.05	4.2		
123	1/10 2.0	8.0	135	5	0.12 0.21	5.4	0.07 0.22	5.2	6.1	0.06 0.16	5.6	0.03 0.08	4.2	0.03 0.05	4.2	0.02 0.05	4.2		
124	1/11 2.0	6.0	40	5	0.11 0.26	6.7	0.09 0.18	6.7	6.1	0.05 0.25	6.7	0.05 0.12	12.2	0.05 0.12	13.0	0.03 0.09	7.8		
125	1/12 2.0	6.0	250	3	0.07 0.17	4.3	0.06 0.16	4.0	5.5	0.05 0.14	4.0	0.03 0.09	5.8	0.03 0.08	4.6	0.02 0.06	4.6		
126	1/13 2.0	8.0	250	3	0.14 0.34	7.4	0.15 0.35	8.0	6.1	0.18 0.32	7.2	0.08 0.18	6.9	0.04 0.16	6.4	0.02 0.06	6.4		
127	1/14 2.0	8.0	230	3	0.08 0.25	6.6	0.07 0.25	6.6	6.1	0.06 0.18	5.6	0.03 0.10	10.1	0.03 0.08	10.6	0.02 0.05	10.6		
128	1/15 2.0	7.0	135	3	0.08 0.23	6.0	0.07 0.22	3.7	6.1	0.06 0.19	3.5	0.03 0.07	6.6	0.03 0.09	3.0	0.02 0.05	3.0		
129	1/16 2.0	7.0	120	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
130	1/17 2.0	6.0	40	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
131	1/18 2.0	6.0	250	3	0.01 0.17	4.3	0.06 0.16	4.0	5.5	0.05 0.14	4.0	0.01 0.12	12.2	0.05 0.12	13.0	0.03 0.09	7.8		
132	1/19 2.0	6.0	230	3	0.01 0.17	4.3	0.06 0.16	4.0	5.5	0.05 0.14	4.0	0.01 0.12	12.2	0.05 0.12	13.0	0.03 0.09	7.8		
133	1/20 3.0	7.0	230	3	0.03 0.25	6.6	0.07 0.25	6.6	6.1	0.06 0.20	5.6	0.03 0.10	10.1	0.03 0.08	10.6	0.02 0.05	10.6		
134	1/21 0.5	7.0	135	3	0.03 0.25	6.6	0.07 0.22	3.7	6.1	0.06 0.22	3.5	0.03 0.09	6.6	0.03 0.09	3.0	0.02 0.05	3.0		
135	1/22 0.5	7.0	120	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
136	1/23 0.5	7.0	100	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
137	1/24 0.5	7.0	90	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
138	1/25 0.5	7.0	80	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
139	1/26 0.5	7.0	70	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
140	1/27 0.5	7.0	60	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
141	1/28 0.5	7.0	50	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
142	1/29 0.5	7.0	40	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
143	1/30 0.5	7.0	30	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
144	1/31 0.5	7.0	20	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
145	1/32 0.5	7.0	10	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
146	1/33 0.5	7.0	0	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
147	1/34 0.5	7.0	15	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
148	1/35 0.5	7.0	25	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
149	1/36 0.5	7.0	35	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
150	1/37 0.5	7.0	45	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
151	1/38 0.5	7.0	55	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
152	1/39 0.5	7.0	65	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
153	1/40 0.5	7.0	75	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01	3.2	0.01 0.01	3.2		
154	1/41 0.5	7.0	85	3	0.01 0.01	6.1	0.02 0.01	2.9	6.1	0.01 0.01	2.4	0.01 0.01	7.0	0.01 0.01					

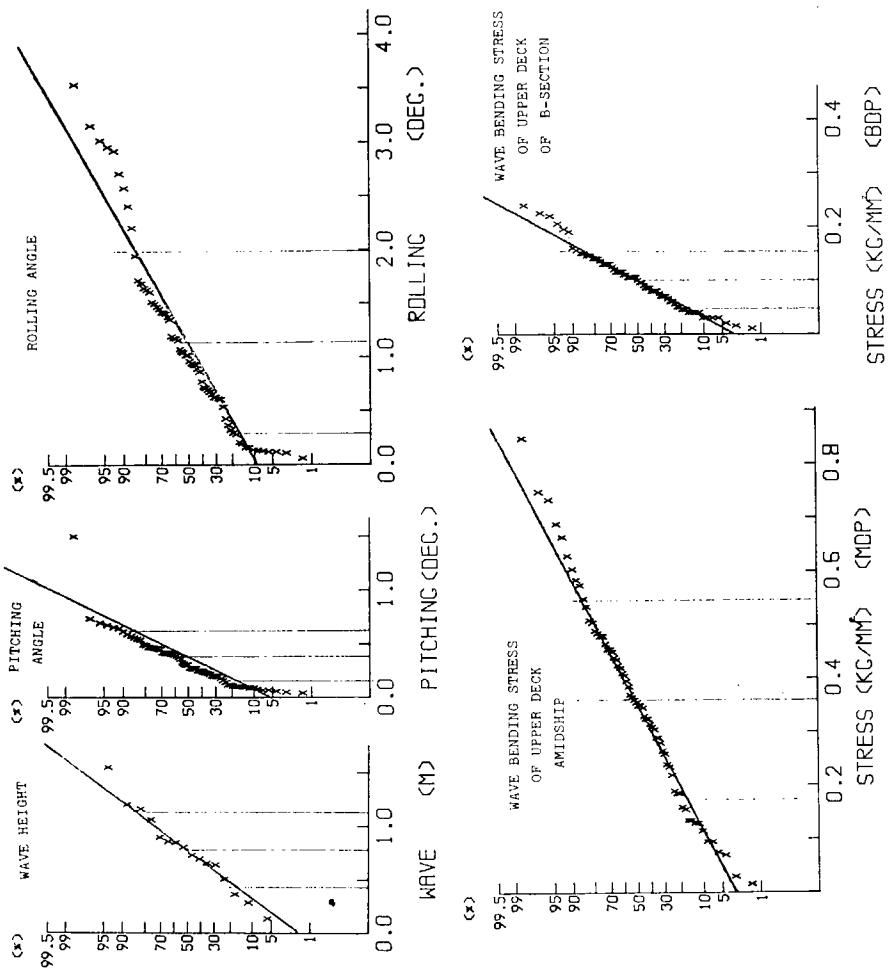


Fig. 2.6 (1) Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (1) (Wave, ship motion and wave bending stress)

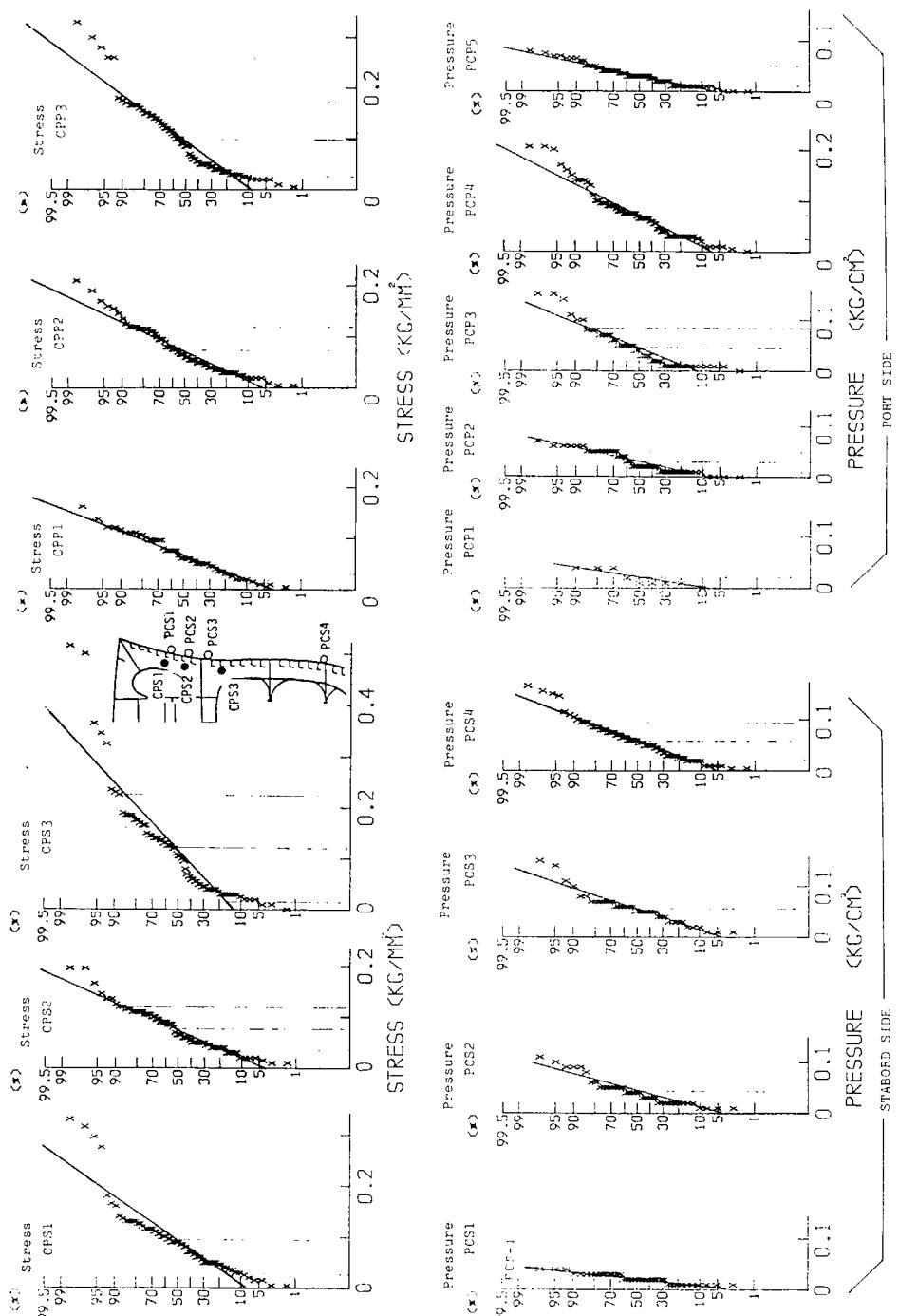


Fig. 2.6 (2) Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (2)
(Stress and pressure of C-Section)

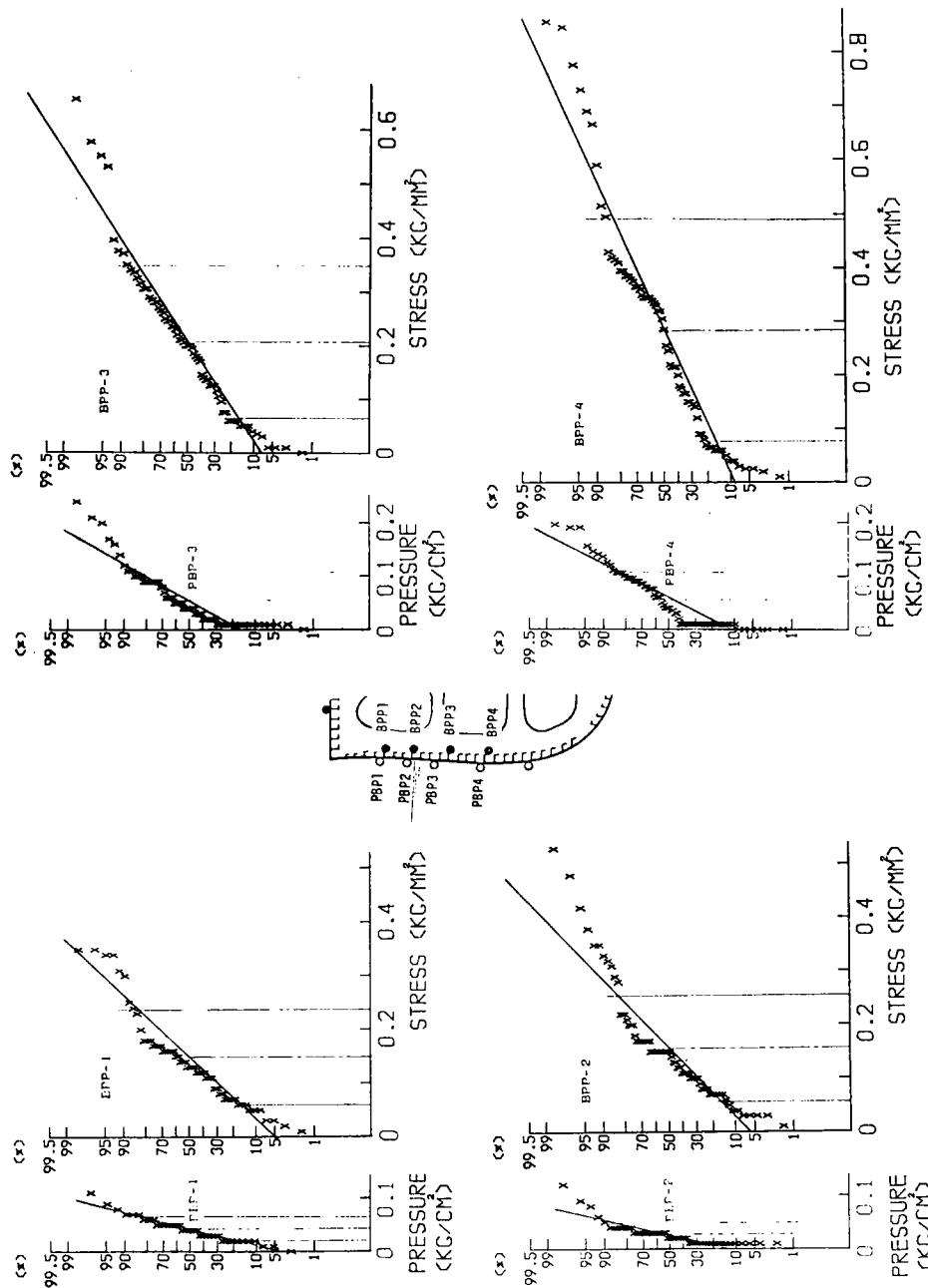


Fig. 2.6 (3) Frequency Distribution of RMS Values of Amplitude (3)
(Stress and pressure of B-Section)

Tab. 2.4 Statistical Distribution of R.M.S. Values

Measuring Points		Number of Data	R.M.S. Values		
Wave	Wave Height		Median	Mean	Standard Deviation
Motion	Pitching Angle " Rolling "	16	0.77	0.78	0.35 m
Pressure	Fore Peak PFP	36	0.02	0.022	0.012 kg/cm²
	PCS-1*	37	0.02	0.022	0.009
	-2*	38	0.03	0.042	0.027
	-3*	38	0.05	0.056	0.031
	-4	68	0.06	0.060	0.036
	C-Section	PCP-1*	9	0.01	0.020
		-2*	46	0.02	0.029
		-3*	46	0.04	0.046
		-4	67	0.06	0.073
		-5	69	0.03	0.031
	B-Section	BPP-1*	37	0.04	0.042
		-2*	48	0.02	0.028
		-3*	68	0.04	0.056
		-4	70	0.04	0.055
		-5	66	0.06	0.064
		-6	73	0.03	0.030
	Midship Section	PMP-1*	23	0.16	0.173
		-2	23	0.06	0.069
		-3	11	0.02	0.025
Stress	Deck	NDP BDP	66	0.35	0.36
			67	0.11	0.10
	B-Section	BPP-1	56	0.13	0.15
		-2	64	0.14	0.15
		-3	65	0.20	0.21
		-4	67	0.28	0.21
	C-Section	CPS-1	66	0.09	0.09
		-2	66	0.06	0.07
		-3	67	0.11	0.12
		CPP-1	49	0.06	0.07
		-2	66	0.06	0.07
		-3	67	0.08	0.10

Pressure Gages with * marks are located above or near the water line. Pressure values of them are not the amplitudes (mean-to-peak) but the absolute values of zero-to-peak.

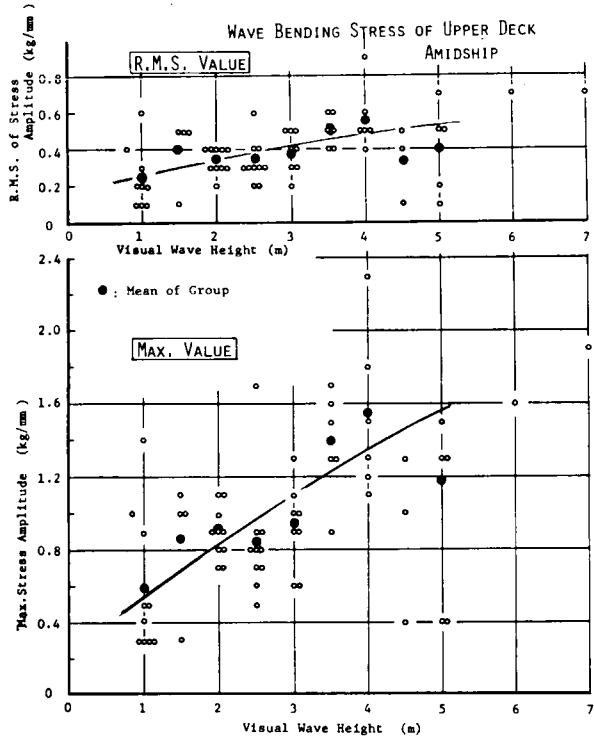


Fig. 2.7 R.M.S. and Max. Value of Wave Bending Stress vs. Wave Height

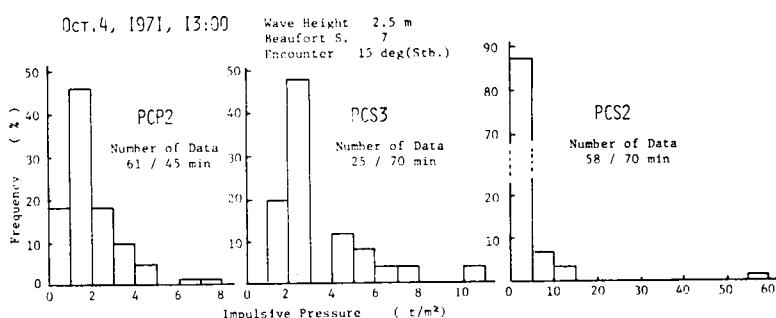


Fig. 2.8 Histograms of Impulsive Wave Pressure

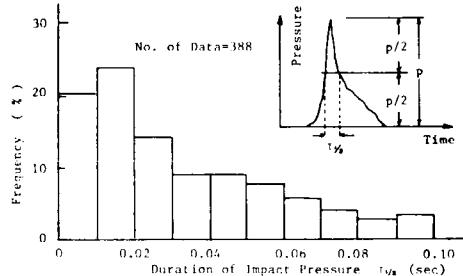


Fig. 2.9 Frequency Distribution of Duration Time of Impactive Wave Pressure

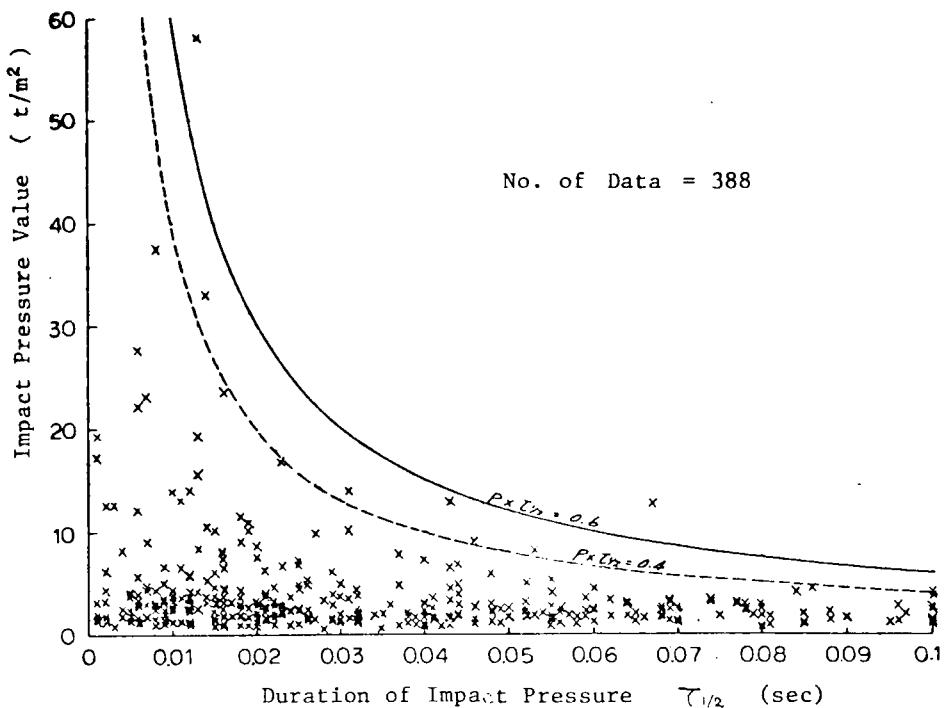


Fig. 2.10 Impact Pressure Value vs. Duration Time

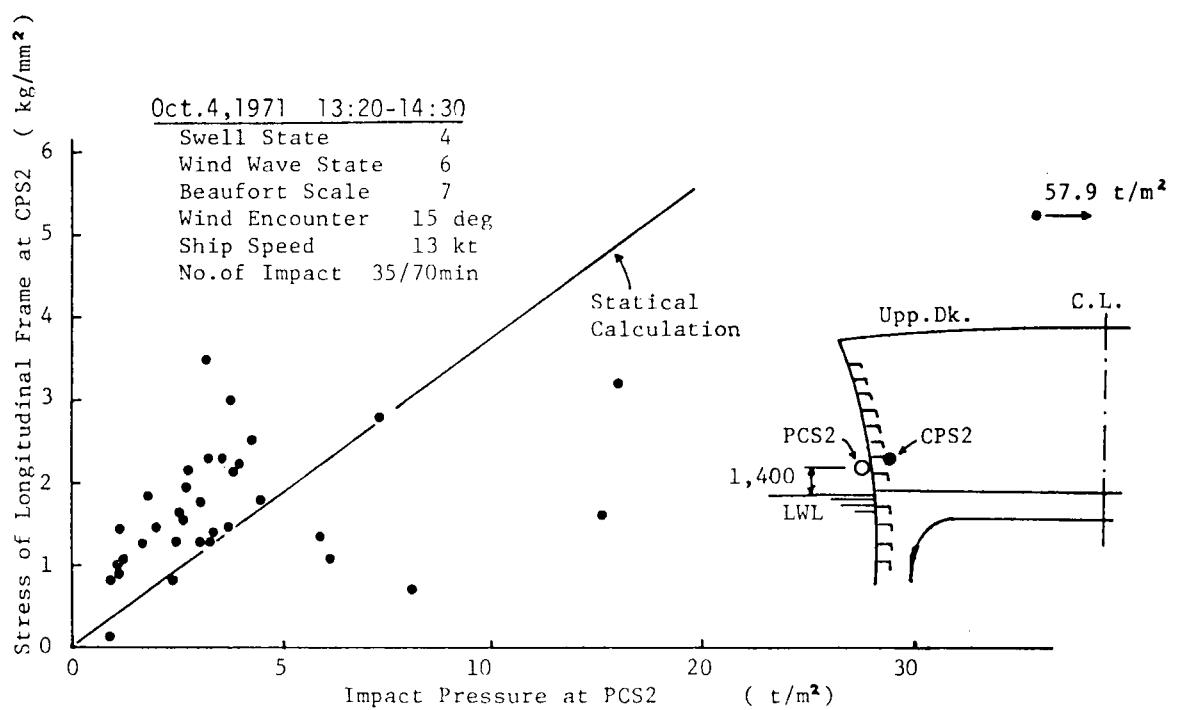


Fig. 2.11 Impact Wave Pressure vs. Hull Stress (C-Section, Fr.88 1/2)

Tab. 2.5 R.M.S. and Max. Values of Wave Pressure

Position		Wave Pressure (kg/cm ²)		
		R.M.S. Value (Mean)	Max. Value	
Q	PQP-1*	0.02 - 0.43	0.17	0.06 - 0.92
	-2	0.00 - 0.19	0.06	0.03 - 0.44
	-3	0.00 - 0.06	0.02	0.00 - 0.12
B	PBP-1*	0.00 - 0.11	0.04	0.01 - 0.23
	-2*	0.01 - 0.12	0.03	0.01 - 0.37
	-3*	0.00 - 0.24	0.06	0.00 - 0.52
	-4	0.00 - 0.20	0.04	0.00 - 0.34
	-5	0.00 - 0.18	0.06	0.01 - 0.42
	-6	0.00 - 0.07	0.03	0.01 - 0.15
C	PCP-1*	0.00 - 0.04	0.02	0.01 - 0.56
	-2*	0.00 - 0.07	0.03	0.01 - 0.24
	-3*	0.00 - 0.15	0.05	0.01 - 0.68
	-4	0.00 - 0.15	0.06	0.01 - 0.39
	-5	0.00 - 0.08	0.03	0.00 - 0.15
	PCS-1*	0.00 - 0.04	0.02	0.02 - 0.18
	-2*	0.01 - 0.11	0.03	0.02 - 0.28
	-3*	0.01 - 0.15	0.05	0.02 - 0.29
	-4	0.01 - 0.17	0.06	0.02 - 0.34
F.P.	PFP *	0.01 - 0.03	0.02	0.02 - 0.18

Pressure gages with * marks are located above or near the water line. Pressure values of them are not the amplitudes (mean-to-peak) but the absolute values of zero-to-peak.

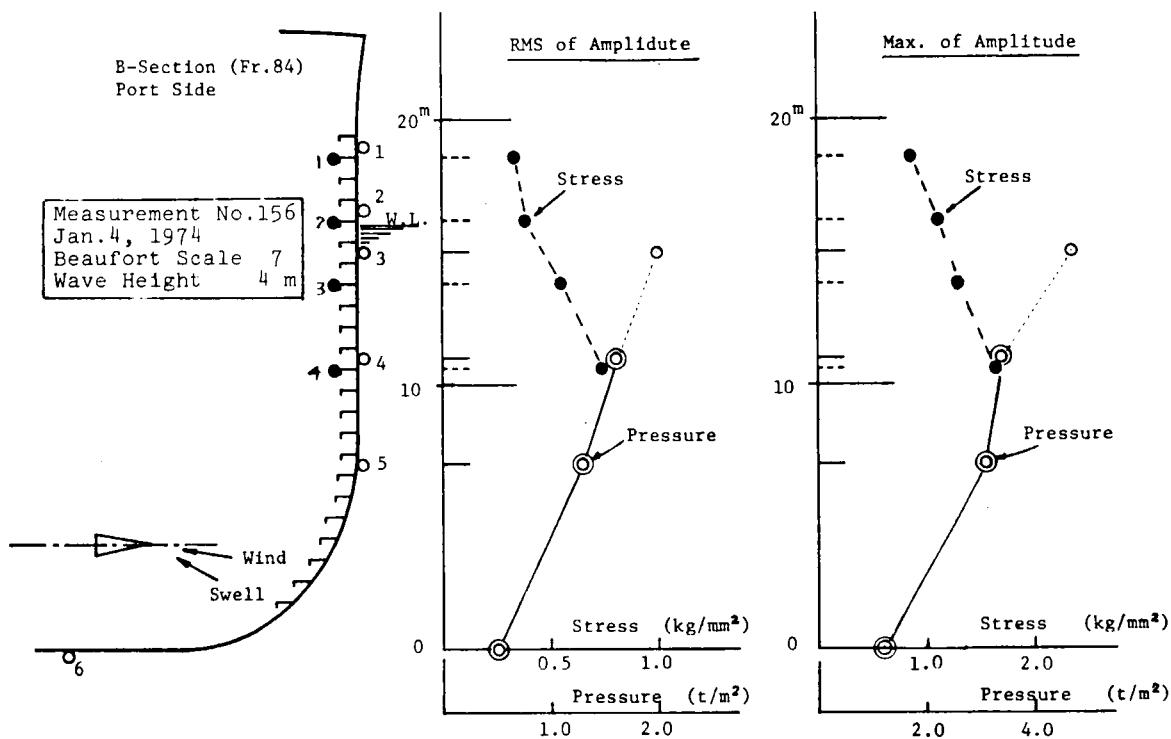


Fig. 2.12 Distribution of Wave Pressure and Frame Stress

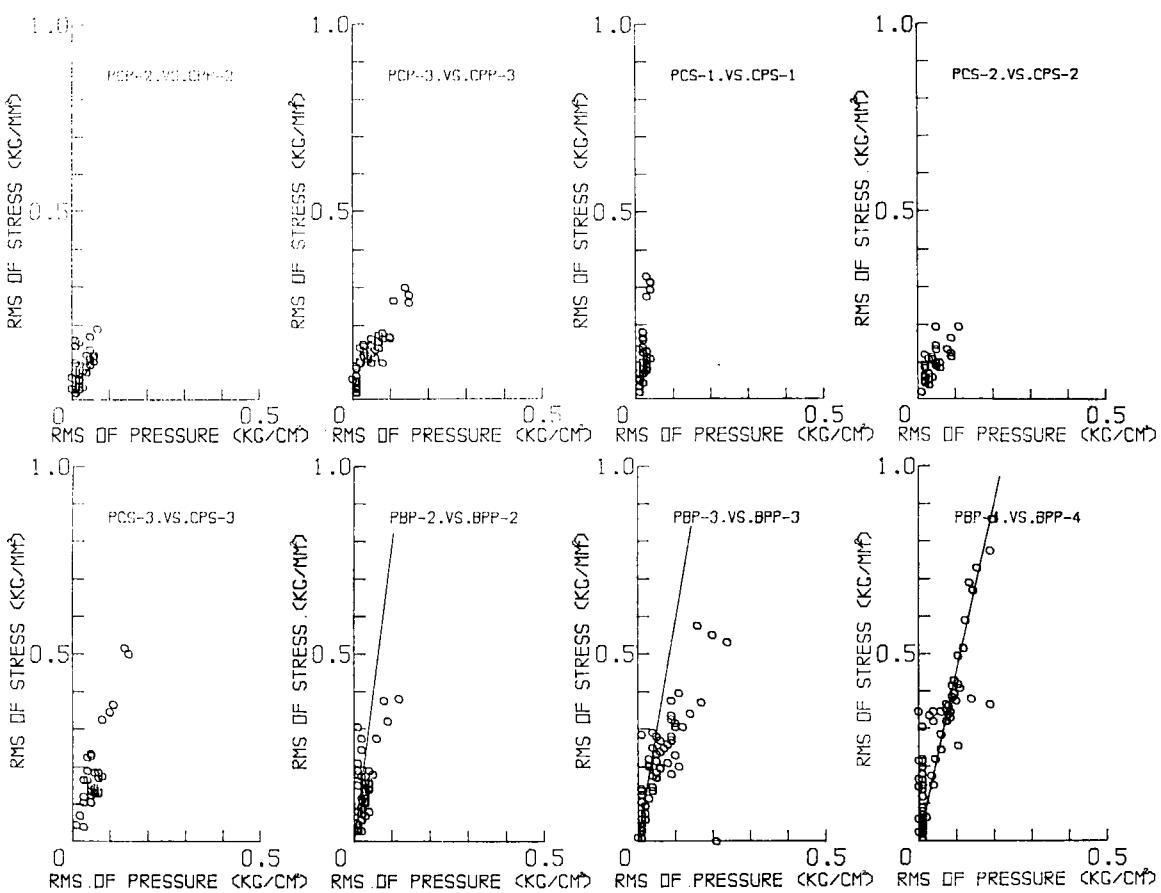


Fig. 2.13 Wave Pressure vs. Hull Stress in the Vicinity (RMS Value)

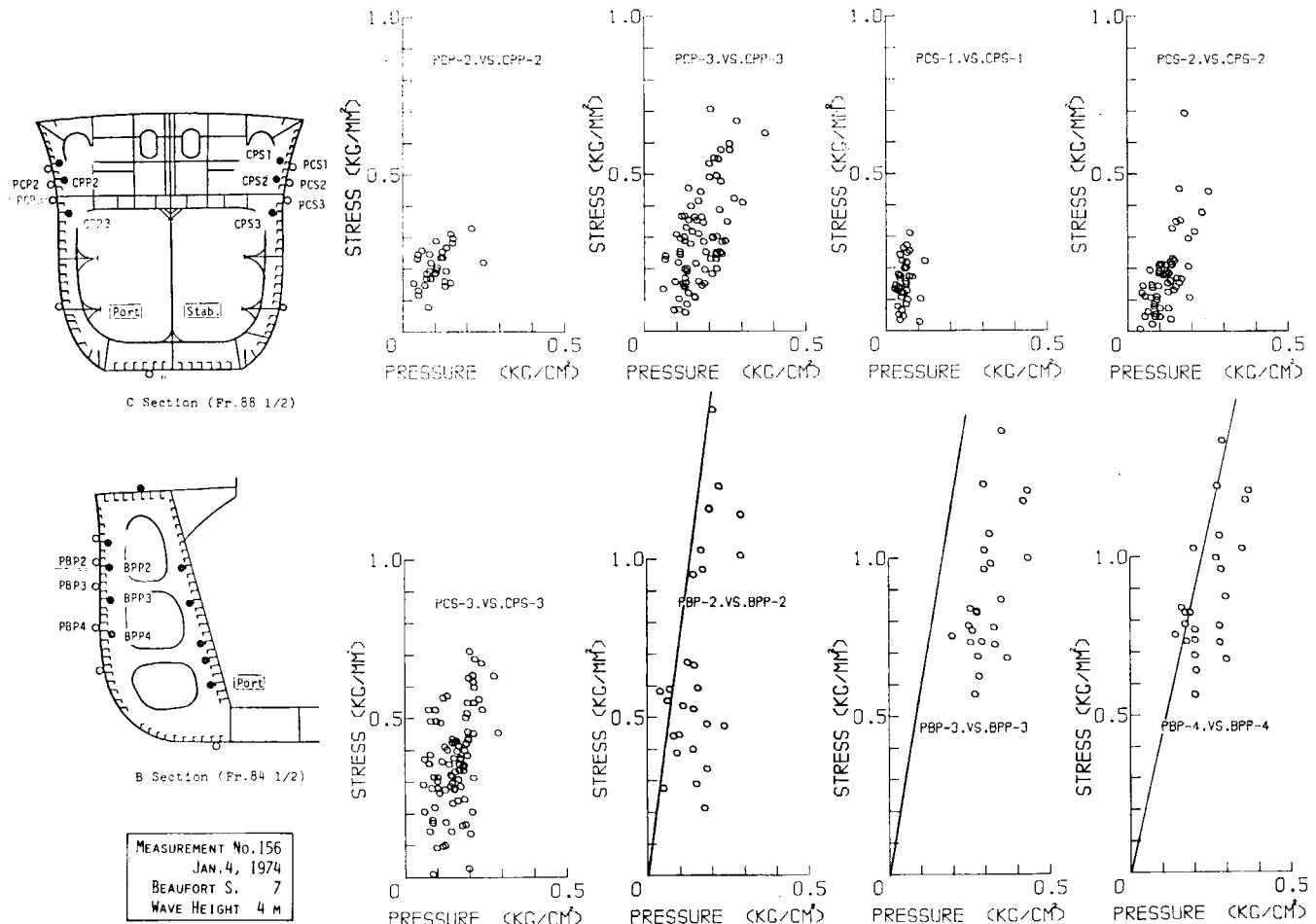


Fig. 2.14 Wave Pressure vs. Hull Stress in the Vicinity (Peak Values)

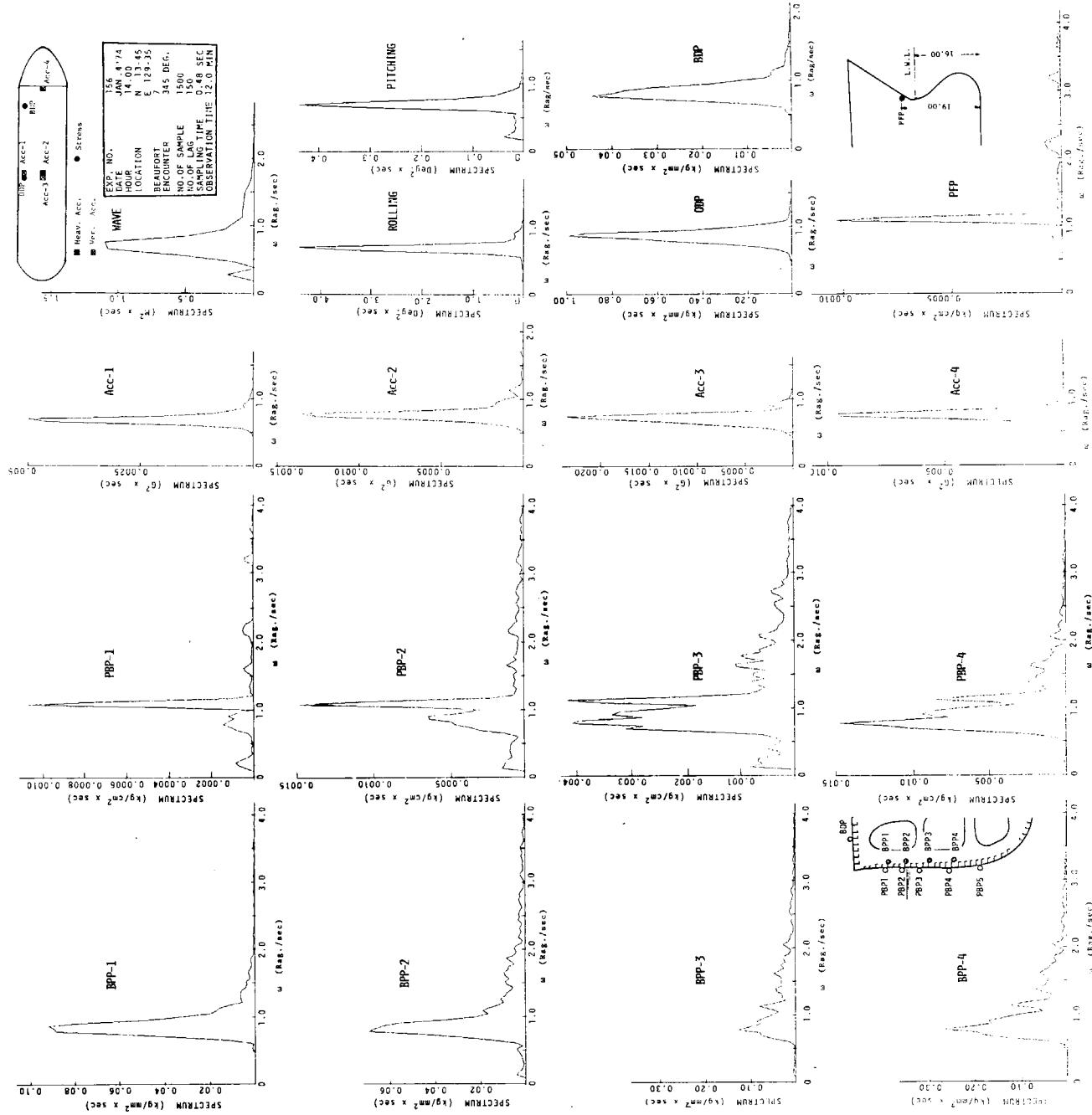


Fig. 2.15 An Example of Spectral Analysis

Tab. 2.6 An Example of Spectral Analysis

Measurement No.156 (Jan.4,1974,15:00) Beaufort Scale=7, Visual Swell Height=4m, Encounter Angle=40deg, Ship Speed=11kt

No. of Data = 1,500, Sampling Time = 0.48 sec, No. of Lag = 150

			Peak Spectrum	Peak Period (sec)	Moments						Variance of Input Data	Standard Deviation	Mean Values			Mean Periods					Lower Limit of Integral (sec)	Upper Limit of Integral (sec)	Band Parameter		
					m_0	m_1	m_2	m_3	m_4	m_{-1}			Mean	Signifi.	1/10 Max.	T_0	T_p	T_B	T_{-2}	T_{-1}	T_{-1}				
B-Section	Stress	BPP-1	0.09	7.20	0.06	0.06	0.07	0.20	0.07	0.08	0.06	0.24	0.61	0.98	1.24	5.96	3.66	6.43	7.27	6.71	7.00	62.8	1.57	0.79	
		" -2	0.07	8.00	0.06	0.08	0.12	0.66	0.68	0.11	0.06	0.25	0.63	1.01	1.28	4.52	2.71	5.20	8.11	5.91	6.72	62.8	1.57	0.80	
		" -3	0.13	8.00	0.16	0.22	0.38	2.04	0.15	0.21	0.16	0.40	1.01	1.62	2.05	4.10	2.72	4.62	7.09	5.23	5.93	62.8	1.57	0.75	
		" -4	0.27	8.00	0.26	0.31	0.46	1.93	0.26	0.30	0.26	0.51	1.28	2.05	2.16	4.75	3.07	5.28	6.75	5.76	6.27	62.8	1.57	0.76	
	Press.	PBP-1	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.08	0.10	4.64	2.79	5.28	10.13	6.25	7.41	62.8	1.57	0.80	
		" -2	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.12	0.16	4.45	2.64	5.18	10.40	6.28	7.61	62.8	1.57	0.80	
		" -3	0.00	5.56	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.08	0.19	0.31	0.39	4.42	2.76	5.09	9.90	6.10	7.32	62.8	1.57	0.78	
		" -4	0.01	7.95	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.02	0.01	0.11	0.29	0.46	0.58	5.27	3.46	5.77	7.08	6.18	6.63	62.8	1.57	0.76	
		" -5	0.01	7.95	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09	0.23	0.37	0.47	6.31	4.30	6.72	7.65	7.02	7.34	62.8	1.57	0.73	
		" -6	0.00	7.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.15	0.20	6.30	3.57	6.89	8.42	7.32	7.77	62.8	1.57	0.82	
C-Section	Stress	CPS-1	0.02	7.95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	0.26	0.42	0.53	6.59	5.38	6.90	8.17	7.23	7.58	62.8	3.14	0.58		
		" -2	0.02	7.95	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.10	0.26	0.41	0.52	6.19	4.96	6.56	8.66	7.04	7.55	62.8	3.14	0.60		
		" -3	0.02	8.00	0.03	0.04	0.08	0.47	0.04	0.10	0.03	0.17	0.44	0.70	0.88	3.97	2.53	4.65	11.58	6.03	7.83	62.8	1.57	0.77	
	Press.	PCS-1	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	4.35	2.55	5.12	11.55	6.45	8.12	62.8	1.57	0.81	
		" -2	0.00	7.58	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.13	0.16	4.09	2.72	4.71	12.24	6.14	7.99	62.8	1.57	0.75	
		" -3	0.00	7.58	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.06	0.14	0.23	0.29	4.37	2.78	5.06	12.81	6.56	8.49	62.8	1.57	0.77	
		" -4	0.02	8.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.11	0.27	0.44	0.56	6.40	4.04	6.86	7.68	7.14	7.43	62.8	1.57	0.77	
	Stress	CPP-2	0.02	7.95	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.13	0.33	0.52	0.67	6.35	5.26	6.64	7.79	6.94	7.25	62.8	3.14	0.56		
		" -3	0.02	7.95	0.03	0.03	0.04	0.10	0.04	0.08	0.03	0.17	0.43	0.69	0.87	5.15	4.18	5.56	10.34	6.48	7.55	62.8	3.14	0.58	
		PCP-2	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.12	0.15	4.20	2.55	4.92	11.06	6.15	7.69	62.8	1.57	0.79	
	Press	" -3	0.00	5.76	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.07	0.17	0.27	0.34	3.98	2.34	4.79	11.26	6.18	7.97	62.8	1.57	0.81		
		" -4	0.02	7.95	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09	0.24	0.38	0.48	6.44	4.27	6.85	7.74	7.13	7.43	62.8	1.57	0.75		
		" -5	0.00	7.95	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.11	0.18	0.22	6.52	3.75	7.06	8.28	7.42	7.80	62.8	1.57	0.82		
Deck Stress	Midship	RDP	0.99	7.20	0.41	0.36	0.34	0.56	0.47	0.55	0.41	0.64	1.60	2.56	3.26	6.85	4.91	7.05	7.31	7.15	7.26	62.8	1.57	0.70	
	B-Sec.	BDP	0.04	8.00	0.02	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.16	0.40	0.63	0.80	6.59	4.21	6.97	7.61	7.18	7.40	62.8	1.57	0.77		
Press.	Midship	PMP	0.05	7.22	0.03	0.03	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	0.16	0.41	0.65	0.82	6.36	4.20	6.71	7.41	6.92	7.14	62.8	1.57	0.75	
	F.P.	PFP	0.01	5.76	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05	0.08	0.10	4.02	2.47	4.68	10.85	5.91	7.45	62.8	1.57	0.79		
Acceleration	Acceleration	ACC-1	0.01	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.15	0.19	8.69	6.64	8.86	9.12	8.95	9.04	41.9	1.57	0.65		
		" -2	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.09	0.11	7.19	4.37	7.58	8.09	7.76	7.96	41.9	1.57	0.79		
		" -3	0.00	8.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.11	0.14	8.24	5.25	8.53	8.88	8.66	8.79	41.9	1.57	0.77		
		" -4	0.01	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.14	0.22	0.28	8.01	5.89	8.19	8.45	8.28	8.38	41.9	1.57	0.68	
Rolling Angle			4.41	8.98	1.05	0.74	0.55	0.52	1.52	2.26	1.05	1.03	2.57	4.11	5.22	8.70	6.45	8.89	9.22	9.00	9.10	31.4	1.57	0.67	
Pitching Angle			0.44	8.98	0.14	0.10	0.08	0.11	0.21	0.37	0.14	0.37	0.93	1.49	1.90	8.44	5.18	8.88	10.28	9.26	9.65	31.4	1.57	0.79	
Wave Height			1.32	8.27	1.01	0.83	0.82	1.75			1.01	1.10	2.52	4.03	5.12	7.00	4.29	7.66				31.4	1.57	0.79	

UNITS: Stress=kg/mm², Pressure=kg/cm², Accel.=g, Angle=deg, Wave Height=m
 DEFINITIONS: variance $\sigma^2 = \int S(\omega) d\omega = m_0$ mean periods $T_0 = 2\pi\sqrt{m_0/m_2}$
 n-th order moment $m_n = \int \omega^n S(\omega) d\omega$ peak to peak $T_p = 2\pi\sqrt{m_1/m_3}$
 mean value mean = $\sqrt{2\pi}\sigma$ narrow band $T_B = 2\pi(m_0/m_1)$
 significant mean value mean_{1/2} = 1.598 mean $T_{-2} = 2\pi\sqrt{m_2/m_4}$
 1/10 max. mean value mean₁₀ = 2.032 mean $T_{-1} = 2\pi\sqrt{m_1/m_3}$
 $T_{-1} = 2\pi\sqrt{m_1/m_3}$ $T_{-1} = 2\pi\sqrt{m_1/m_3}$

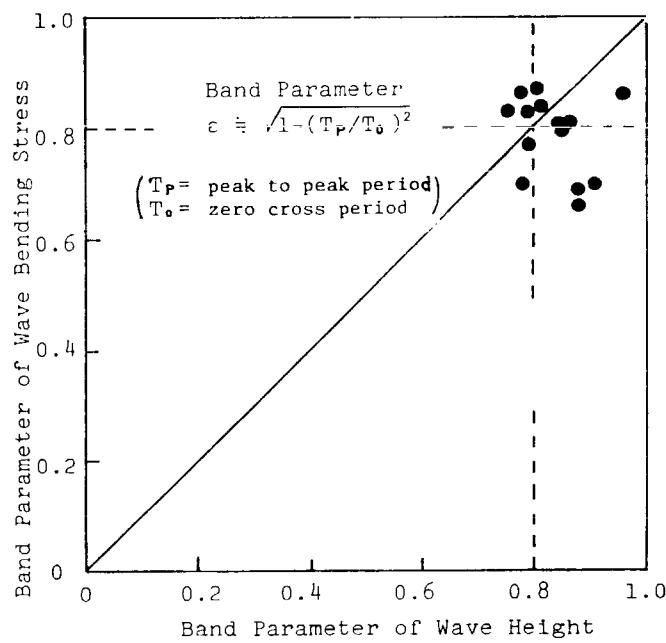


Fig. 2.16 Spectral Band Parameter of Wave Height and Wave Bending Stress

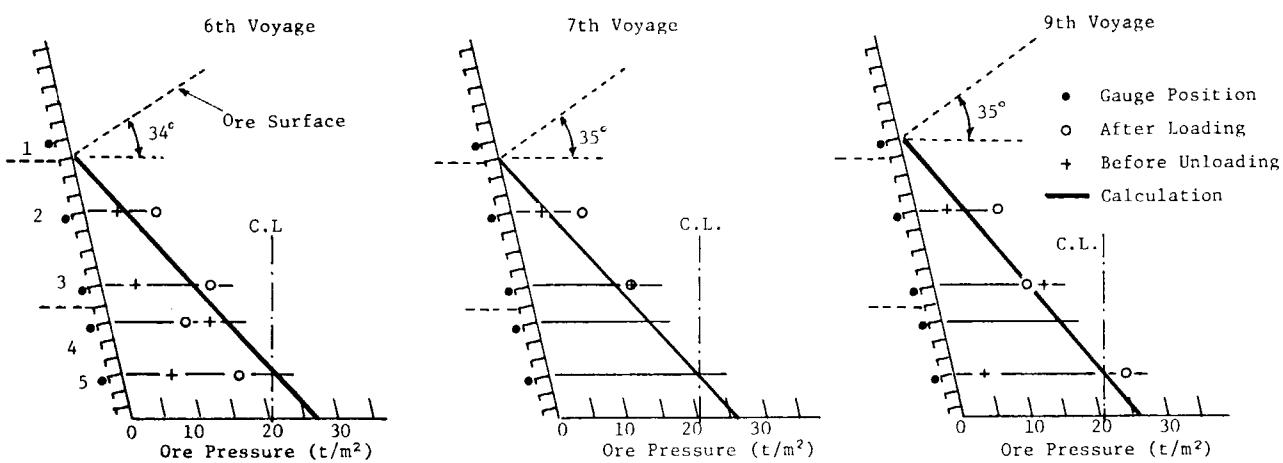
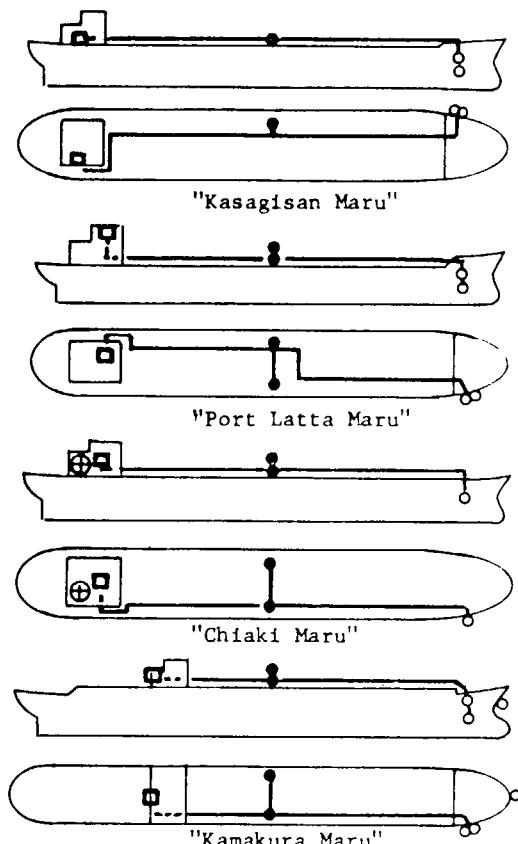


Fig. 2.17 Statical Pressure of Cargo Ore to the Side Wall
(B-Section, Fr. 84)

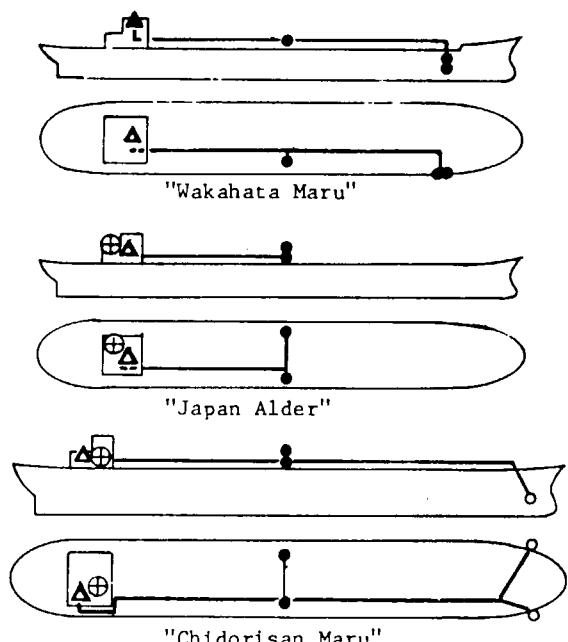
Tab. 3.1 Ships for Automatic Measurements

Instruments	Ships	Owner	Principal Particulars						Measuring Item		
			L PP (m)	B m (m)	D m (m)	d (m)	D.W. (t)	Speed (kt)	Press- ture	Deck Stress	Motion
Automatic Analogue Data Recorder	Kasagisan Maru	Ore Carrier Mitsui O.S.K. Lines	247.00	40.60	23.00	16.00	117,521	14.8	x	x	
	Port Latta Maru	Ore Carrier Daiichi Chuo Kisen Kaisha	237.00	38.50	19.30	14.10	93,356	15.4	x	x	
	Chiaki Maru	Bulk Carrier N.Y.K. Line	248.00	38.00	23.70	16.50	115,000	14.9		x	x
	Kamakura Maru	Container Ship N.Y.K. Line	245.00	32.20	24.00	12.00	35,406	26.4	x	x	
Automatic R.M.S. Meter	Wakahata Maru	Ore Carrier Yamashita Shin-nihon Steamship	240.00	36.80	17.60	12.80	93,113	15.7		x	
	Japan Alder	Bulk Carrier Japan Line	210.00	32.00	17.30	12.09	57,911	14.9		x	x
	Chidorisan Maru	Ore Carrier Mitsui O.S.K. Lines	278.80	44.50	24.50	17.93	164,644	15.7	x	x	x

Automatic Analogue Data Recorder



Automatic R.M.S. Meter

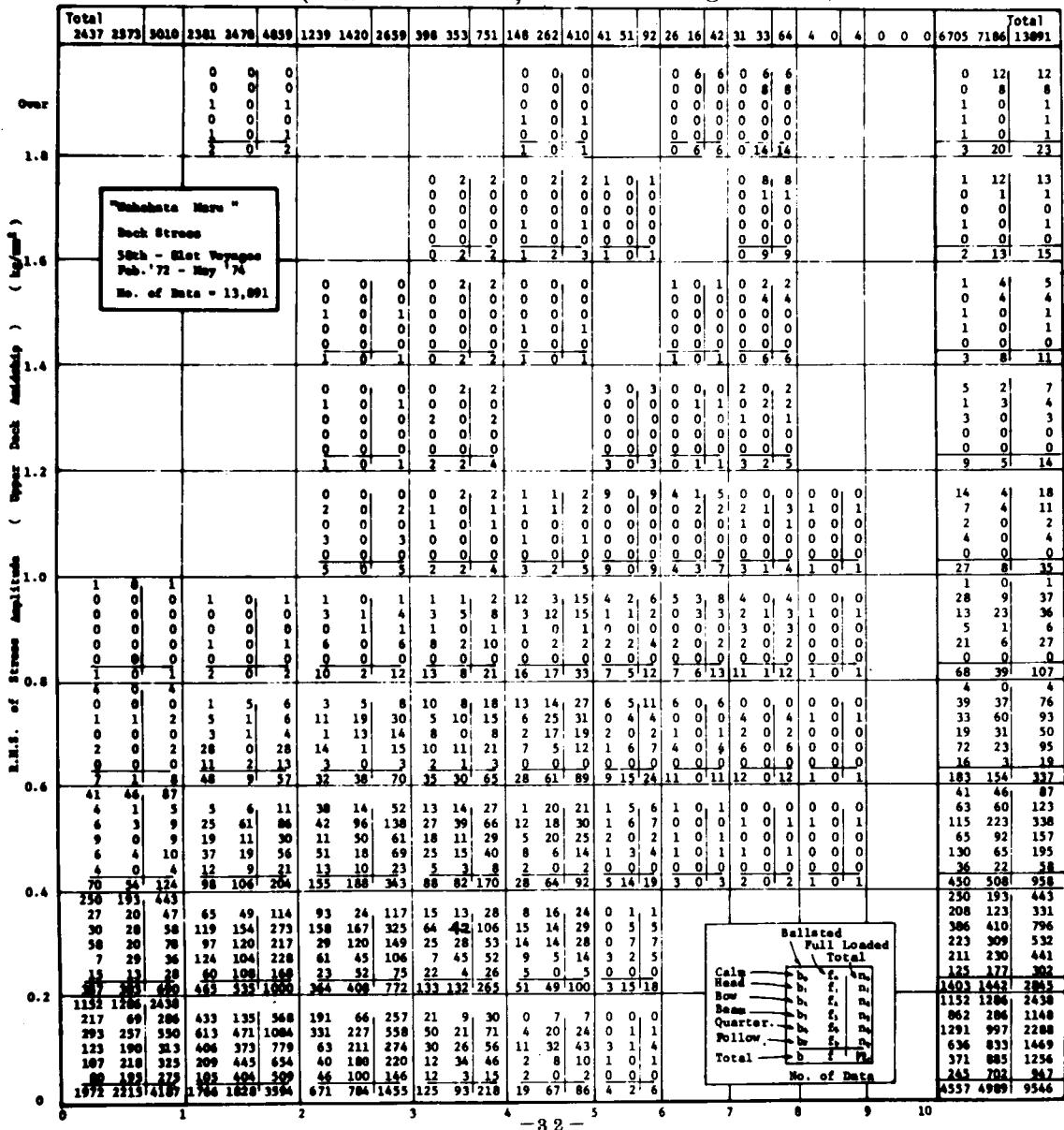


- Strain Gauge
- Wave Pressure Gauge
- ⊕ Ship Motion Meter
- Automatic Analogue Data Recorder
- △ Automatic R.M.S. Meter

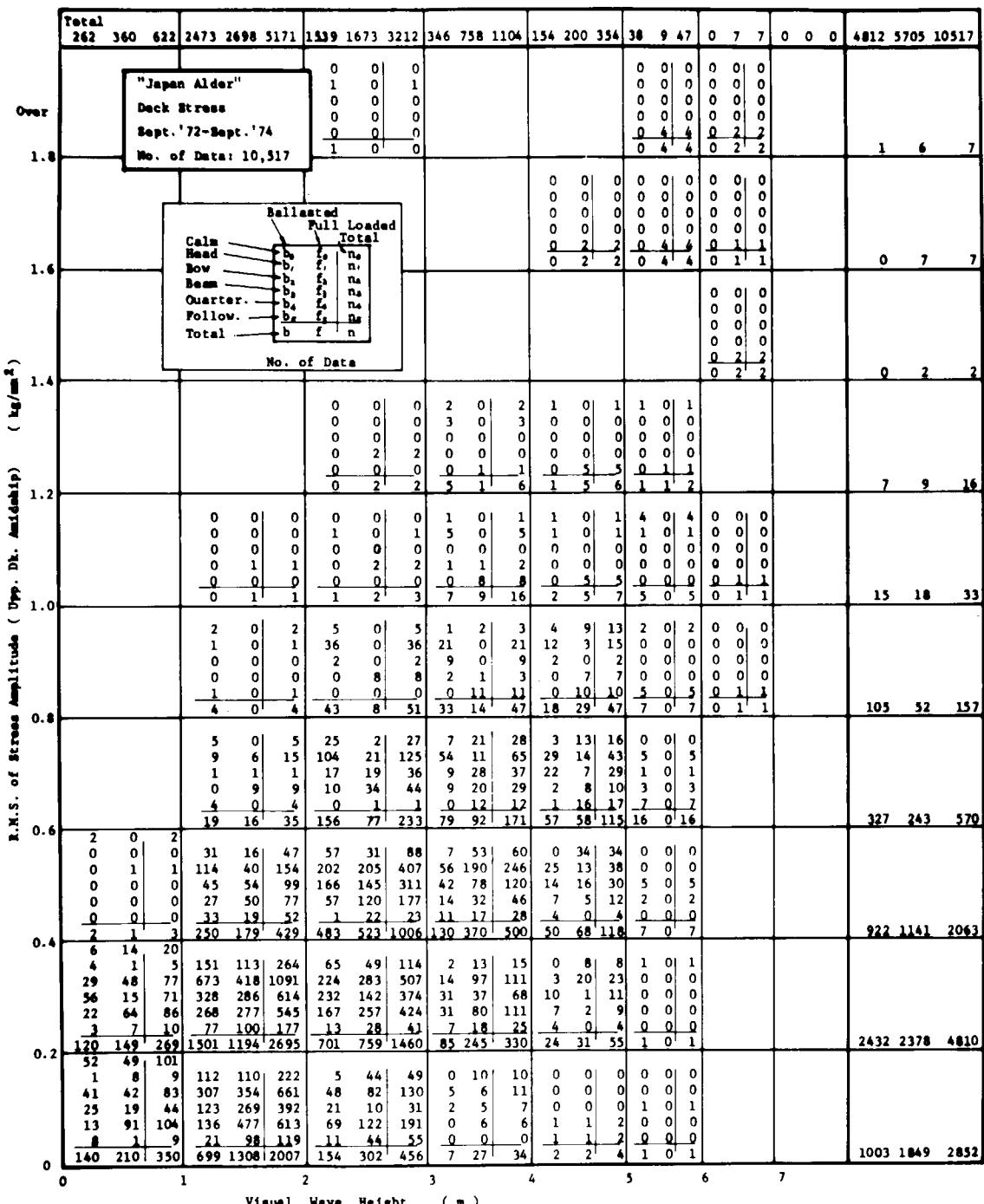
Fig. 3.1 Measuring Points of Automatic Measurements

Tab. 3.2 Voyages for Automatic Measurements

Tab. 3.3 Frequency Distribution of RMS Values
(WAKAHATA MARU, Wave Bending Stress)



Tab. 3.4 Frequency Distribution of RMS Values
(JAPAN ALDER, Wave Bending Stress)



Tab. 3.5 Frequency Distribution of RMS Values
(CHIDORISAN MARU, Wave Bending Stress)

Tab. 3.6 Frequency Distribution of RMS Values
(JAPAN ALDER, Rolling Angle)

Tab. 3.7 Frequency Distribution of RMS Values
(CHIDORISAN MARU, Wave Pressure)

Total		213	260	473	392	398	790	165	130	295	35	45	80	10	44	54	0	6	6	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Total								
Over		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1							0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
1.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2							0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
1.6		0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	2																									
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
		0	2	2	0	1	1	2	0	2	0	2	0																											
1.4		0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
		0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1							0	0	0																		
		0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1							2	0	2																		
		0	3	3	0	2	2	2	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		1	6	7	0	2	2	2	0	2	2	0	2							2	0	2																		
1.2		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
		0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1							0	0	0																		
		0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1							2	0	2																		
		0	3	3	0	2	2	2	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		1	4	5	5	1	6	4	0	4	1	2	3							1	4	5																		
1.0		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		1	1	2	5	0	5	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		1	0	1	5	0	5	1	4	5	1	3	4							0	4	4																		
		1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	4	4							0	1	1																		
		0	3	3	0	4	4	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		3	5	8	11	4	15	2	4	6	1	7	8							5	5	0																		
0.8		1	3	4	6	1	7	0	1	1	0	0	0							0	0	0																		
		3	1	4	14	6	20	3	17	20	0	8	8							0	11	11																		
		0	3	3	0	2	2	1	2	0	1	1	0							0	0	0																		
		0	3	3	0	7	7	0	4	4	1	0	1							0	0	0																		
		0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		4	12	16	22	16	38	4	23	27	1	9	10							0	11	11																		
0.6		1	1	2	5	7	2	7	9	0	3	3	0							0	0	0																		
		3	5	8	15	27	42	7	17	24	3	1	4							0	8	8																		
		0	2	2	6	12	18	22	6	28	0	3	0							3	0	0																		
		0	10	10	2	9	11	29	6	35	5	0	5							0	0	0																		
		0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	1	1							0	0	0																		
		6	23	29	25	62	87	58	32	90	8	17	8							0	8	8																		
0.4		25	31	56	8	10	15	22	0	7	7	0	0							0	0	0																		
		16	15	31	18	40	58	9	9	18	0	7	7							0	4	4																		
		12	1	13	42	66	108	25	7	32	0	6	6							0	6	6																		
		10	11	21	90	53	143	36	8	44	2	0	2							0	2	0																		
		0	3	15	15	20	3	0	3	0	0	0	0							0	0	0																		
		71	63	134	172	179	351	73	31	104	2	13	15							0	10	10																		
0.2		63	46	109	1	11	0	1	1	0	0	0	0							0	0	0																		
		4	30	34	18	27	45	3	10	13	0	6	6							0	4	4																		
		12	11	23	22	51	73	0	12	12	0	1	1							0	2	2																		
		25	16	41	43	41	84	7	13	20	10	0	10							2	0	2																		
		0	10	10	20	3	23	5	0	5	0	0	0							0	0	0																		
		105	123	228	103	123	226	15	33	50	10	7	17							2	6	8																		
0.0		14	6	20	0	1	1	2	0	0	0	0	0							0	0	0																		
		1	11	12	22	7	29	0	5	5	0	0	0							0	0	0																		
		2	4	6	6	1	7	0	2	0	2	8	0							8	5	0																		
		0	0	0	4	0	4	0	0	4	0	0	4							0	4	0																		
		21	22	43	33	10	63	2	3	5	7	12	0	12					</td																					

Tab. 3.8 Frequency Distribution of Encounter Wave Heights

Visual Wave Height (m)	< 1 \leq	< 2 \leq	< 3 \leq	< 4 \leq	< 5 \leq	< 6 \leq	< 7 \leq	< 8 \leq	< 9 \leq	< 10 \leq	Total
"Wakahata Maru"											
Ballasted Cond.	2437	2371	1239	398	148	41	26	31	4	0	6,705
Full Loaded C.	2573	2478	1420	353	262	51	16	33	0	0	7,186
Total (%)	5010	4859	2659	751	410	92	42	64	4	0	13,891
	(36.1)	(35.0)	(19.1)	(5.4)	(3.0)	(0.7)	(0.3)	(0.5)	(0.02)	(0)	(100.0)
"Japan Alder"											
Ballasted Cond.	262	2473	1539	1346	154	38	0	0	0	0	4,812
Full Loaded C.	360	2698	1673	758	200	9	7	0	0	0	5,705
Total (%)	622	5171	3212	1104	354	47	7	0	0	0	10,517
	(5.9)	(49.2)	(30.5)	(10.5)	(3.4)	(0.4)	(0.1)	(0)	(0)	(0)	(100.0)
"Chidorisan Maru"											
Ballasted Cond.	1039	1370	954	215	160	12	11	1	11	0	3,773
Full Loaded C.	1208	1001	746	413	131	37	40	0	0	0	3,579
Total (%)	2247	2371	1700	628	291	49	51	1	11	0	7,352
	(30.6)	(32.2)	(23.1)	(8.5)	(4.0)	(0.7)	(0.7)	(0.01)	(0.1)	(0)	(100.0)

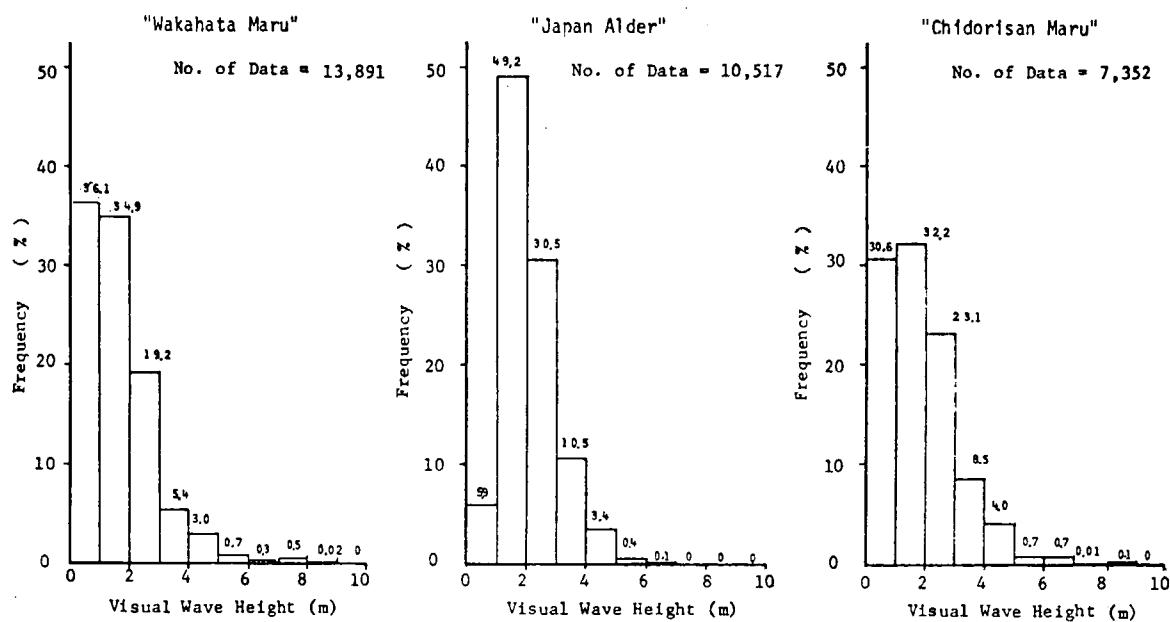


Fig. 3.2 Frequency Distribution of Visual Wave Height

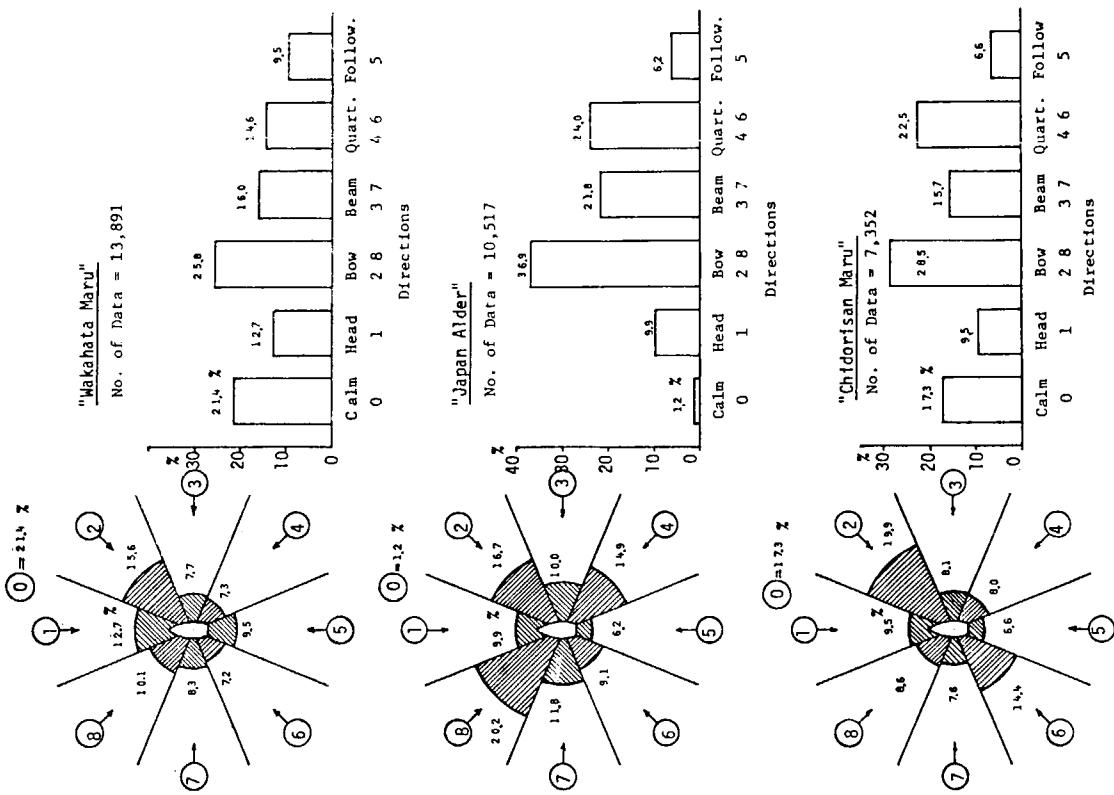


Fig. 3.3 Frequency Distribution of Wave Encounter Angle

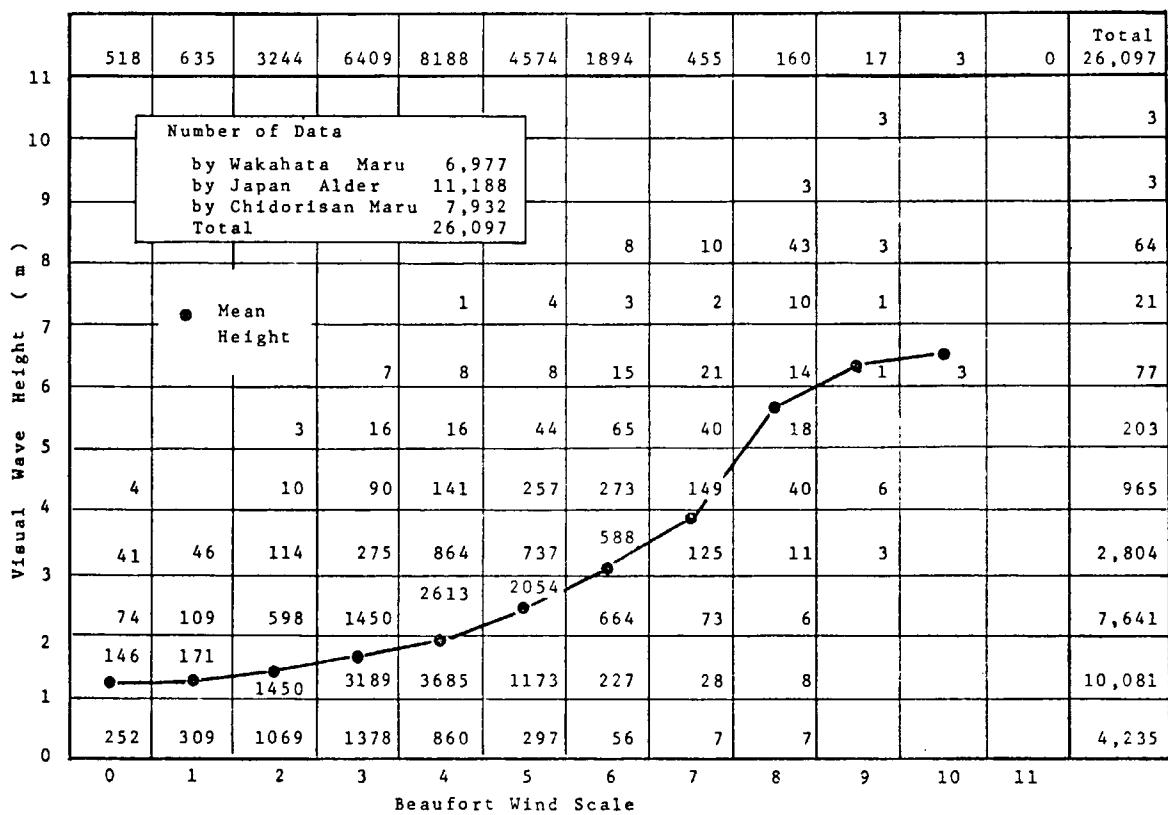


Fig. 3.4 Visual Wave Height vs. Beaufort Wind Scale

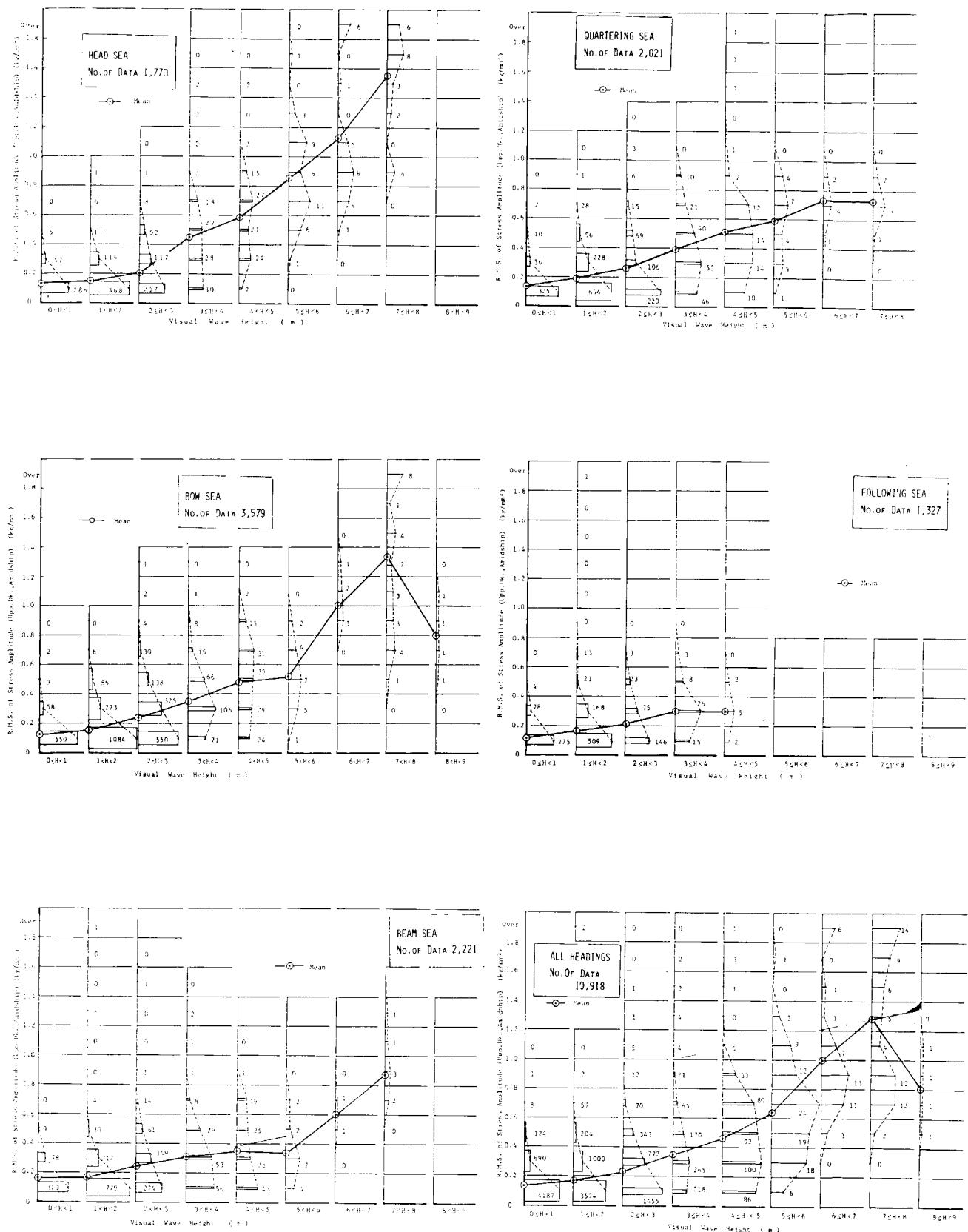


Fig. 3.5 Wave Bending Stress vs. Visual Wave Height and Encounter Angle (Frequency Distribution of RMS Values of Stress Amplitude of Upper Deck Amidship, WAKAHATA MARU)

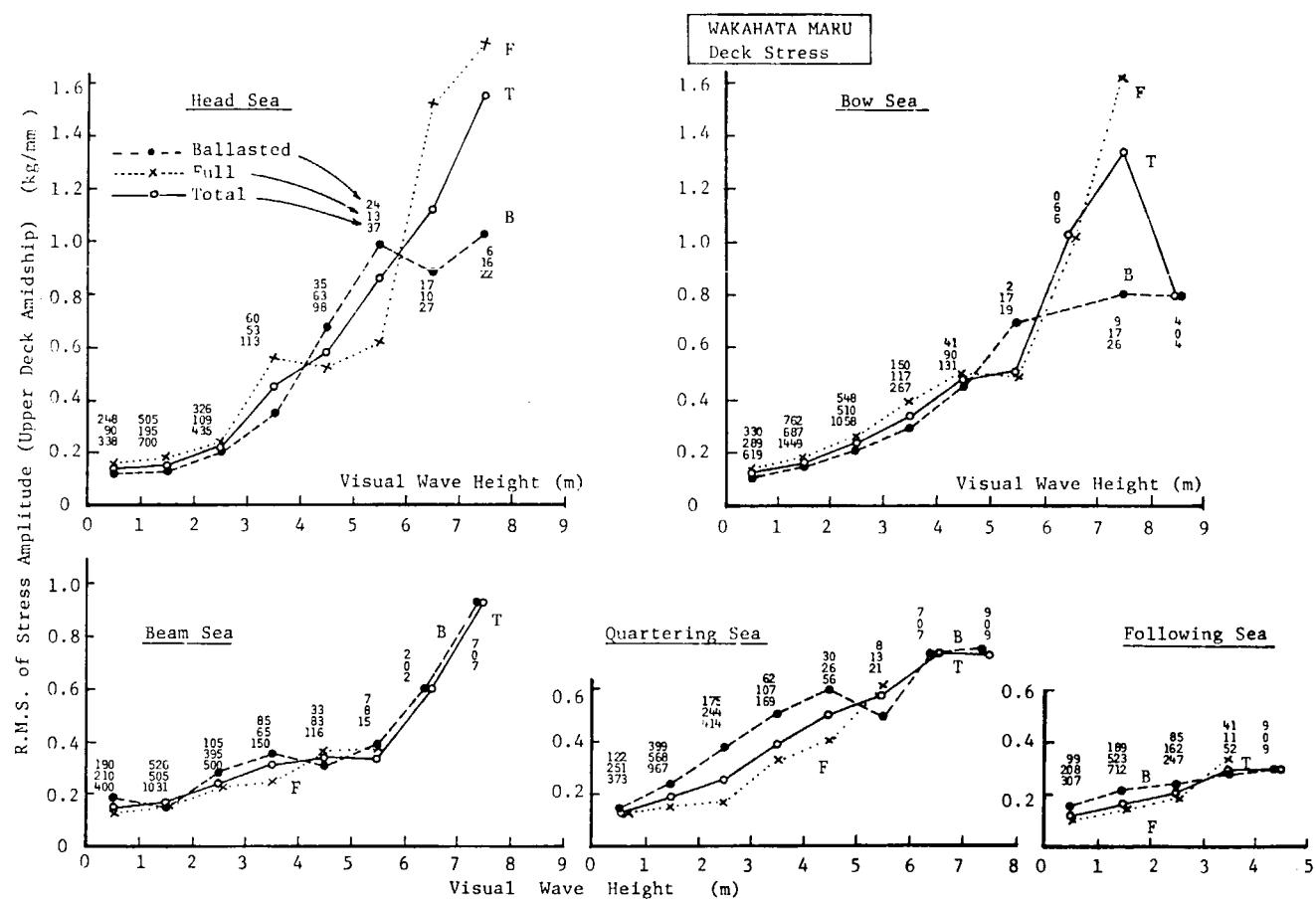


Fig. 3.6 Effect of Encounter Angle and Load Condition to the RMS Values of Wave Bending Stress

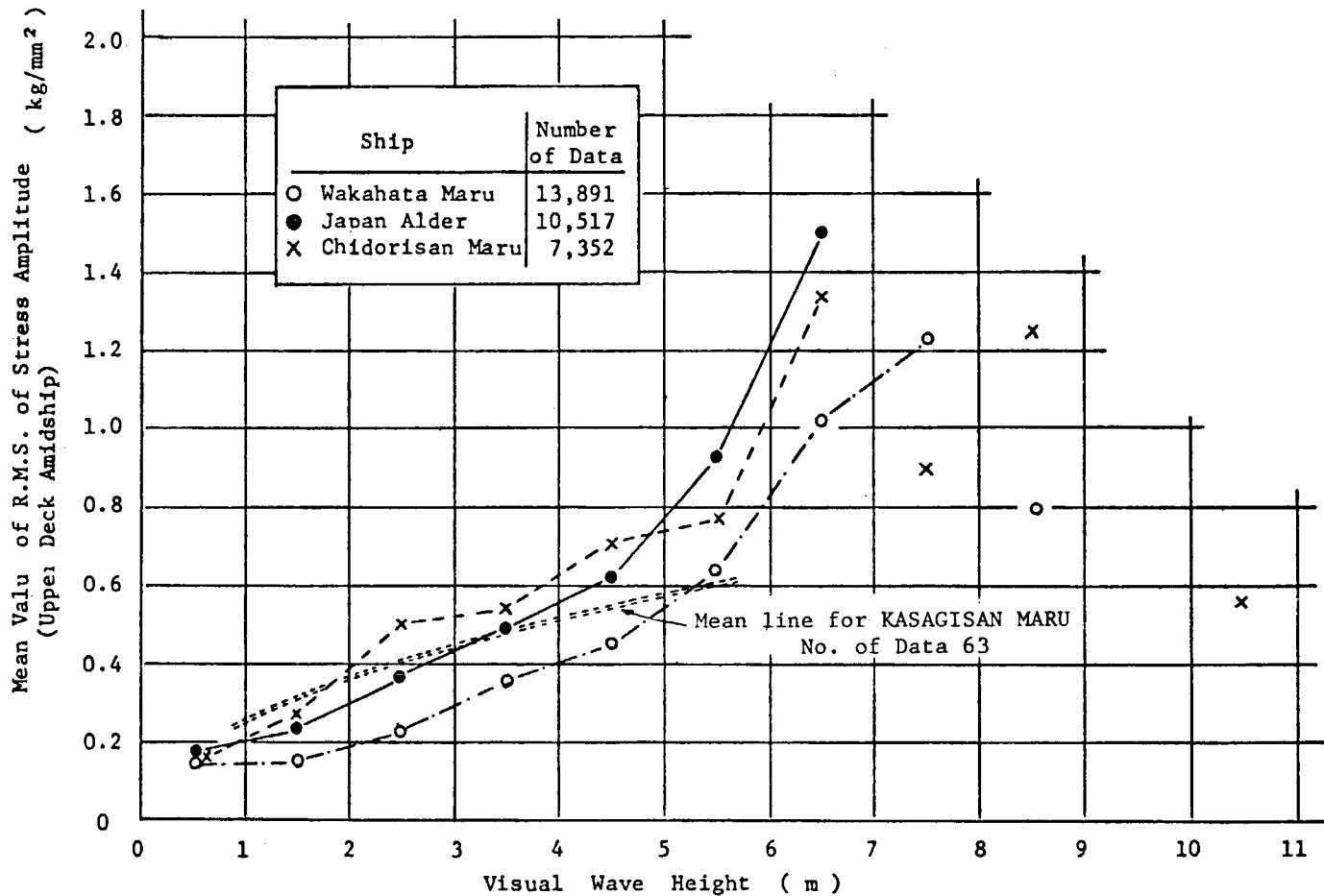


Fig. 3.7 Mean Values of RMS of Wave Bending Stress vs. Wave Height

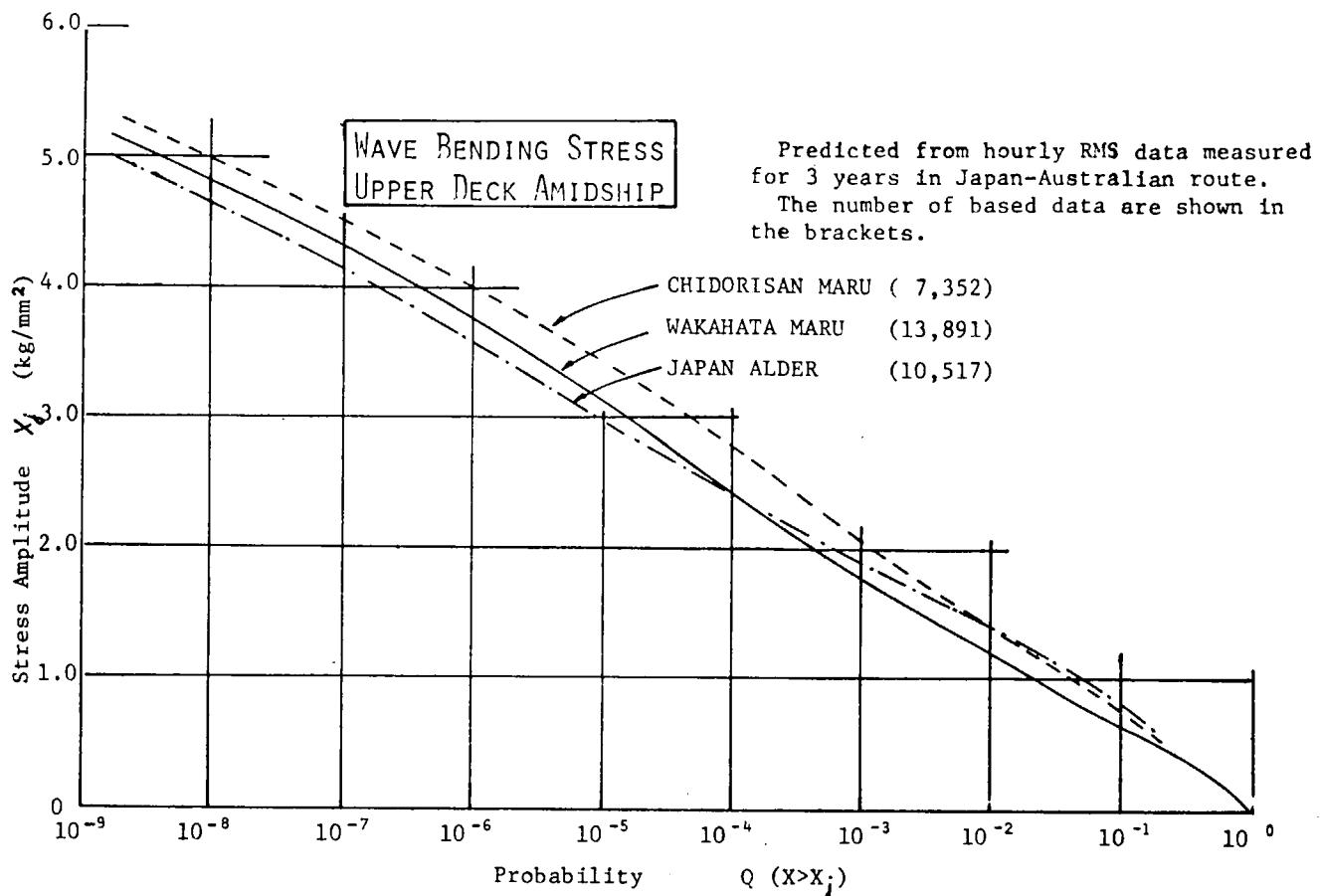


Fig. 3.8 Prediction of Long Term Distribution of Wave Bending Stress

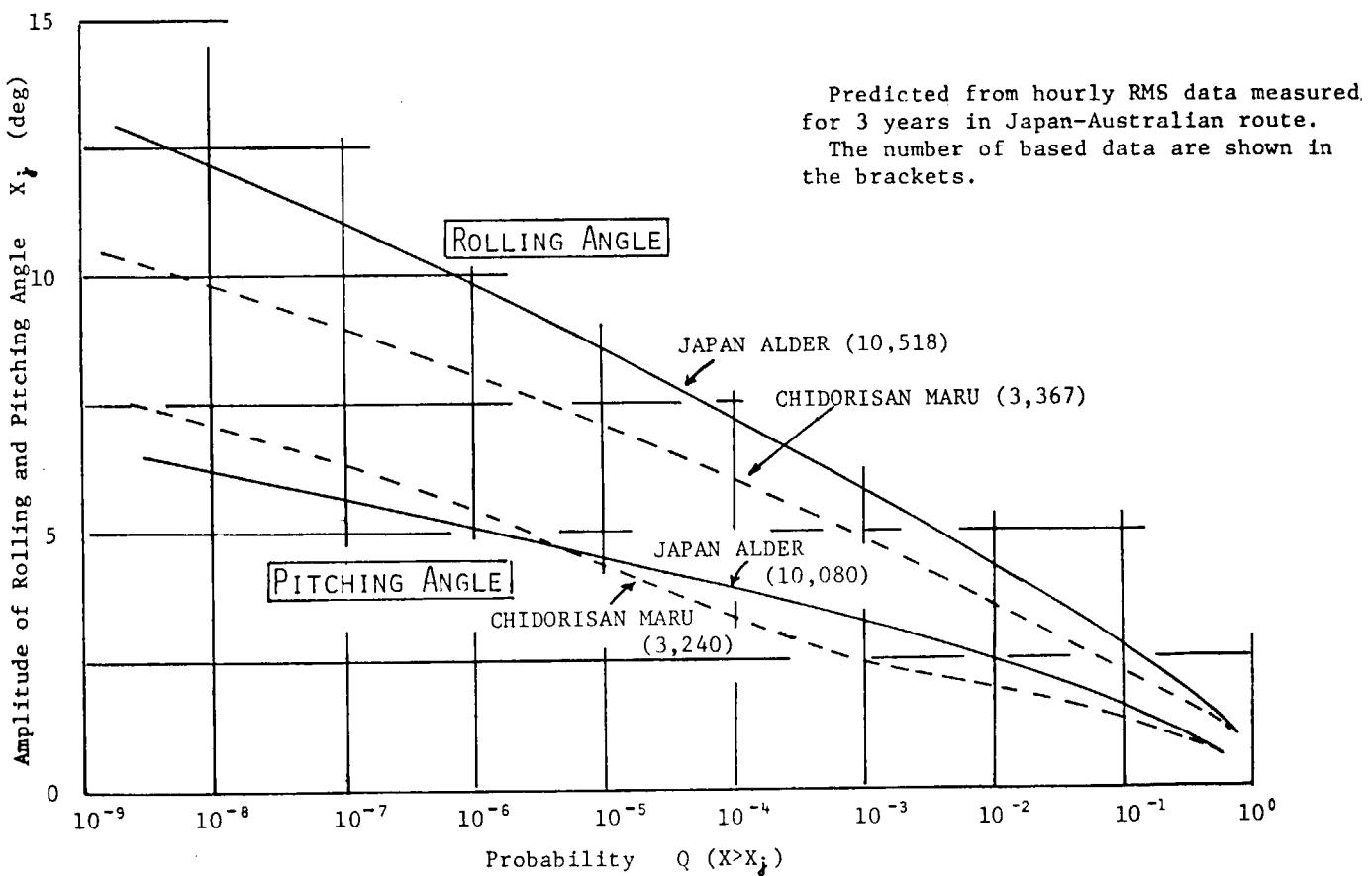


Fig. 3.9 Prediction of Long Term Distribution of Rolling and Pitching Angle

Tab. 3.9 Frequency Distribution of Impactive Wave Pressure
(Fore Poppet, KAMAKURA MARU)

Beaufort Scale	Number of 15 min Measurements	Total Meas. Time (min)	Number of Impacts										Total	
			Level of Impact Pressure (kg/cm ²)											
			0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	
2	4	60 (30)		42 (21.0)	21 (10.5)	3 (1.5)							66 (33.0)	
3	11	165 (30)		27 (4.9)	83 (15.1)	28 (5.1)	2 (0.4)						140 (25.5)	
4	72	1080 (30)	11 (0.3)	190 (5.3)	761 (19.9)	518 (14.4)	176 (4.9)	33 (0.9)	11 (0.3)	9 (0.3)	1 (0.0)		1665 (46.3)	
5	41	615 (30)		62 (3.0)	331 (16.2)	409 (20.0)	190 (9.3)	67 (3.3)	24 (1.2)	9 (0.4)	10 (0.5)	6 (0.3)	1108 (54.0)	
6	40	600 (30)		47 (2.4)	261 (13.1)	270 (13.5)	199 (10.0)	56 (2.8)	28 (1.4)	10 (0.5)	6 (0.3)	2 (0.1)	880 (44.0)	
7	26	390 (30)		22 (1.7)	162 (12.5)	154 (11.9)	72 (5.5)	17 (1.3)	9 (0.7)	8 (0.6)	4 (0.3)	3 (0.2)	452 (34.8)	
8	9	135 (30)		13 (2.9)	58 (12.9)	81 (18.0)	17 (3.8)	15 (3.2)	3 (0.7)	0 (0.6)	0 (0.3)	0 (0.2)	190 (42.2)	
9	4	60 (30)		6 (3.0)	22 (11.0)	34 (17.0)	11 (5.5)	3 (1.5)	0 (0.5)	1 (0.5)			77 (38.5)	
10	8	120 (30)	3 (0.8)	37 (9.3)	41 (10.3)	27 (6.8)	9 (2.3)	4 (1.0)	1 (0.3)				122 (30.5)	
Total	215	3225 (30)	14 (0.1)	446 (4.2)	1695 (15.8)	1524 (14.2)	676 (6.3)	195 (1.8)	76 (0.7)	37 (0.3)	21 (0.2)	11 (0.1)	5 (0.1)	4700 (43.7)

(Number) shows the mean number of impacts during 30 minutes.

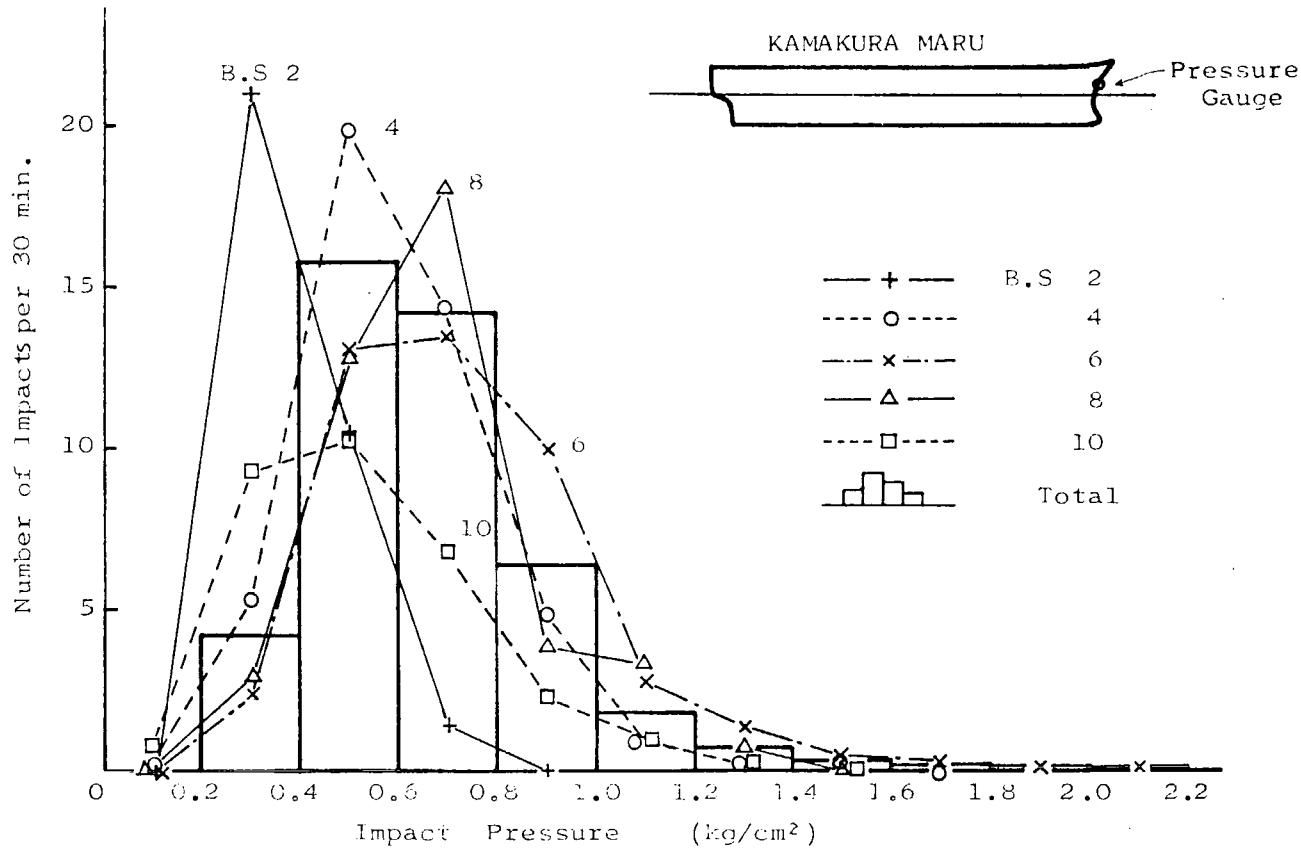


Fig. 3.10 Frequency Distribution of Impactive Wave Pressure
(Fore Poppet, KAMAKURA MARU)