

日本船舶振興会昭和43年度補助事業  
“船舶の経済性向上に関する調査研究”

研究資料No.88

## 第90研究部会

### 海象・気象と船体構造との関連に関する調査研究

(波浪曲げモーメントの計算)

### 報 告 書

昭和44年3月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

# はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和43年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査」の一部として日本造船研究協会が第90研究部会においてとりまとめたものである。

## 第90研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長 小委員会委員	寺沢 一雄	大阪大学
幹事長 小委員会委員	八木 順吉	大阪大学
幹事 船体断面係数小委員会委員長	榎田 吉郎	日本海事協会
	秋田 好雄	石川島播磨重工業
幹事	飯塚 正丈	三菱重工業
	片堀 泰治	日立造船
幹事	雁野 昌明	日立造船
	岸康太郎	三井造船
	久津間 裕良	運輸省
幹事	郷田 国夫	船舶技術研究所
	後藤 大三	石川島播磨重工業
幹事	鈴木 宏	日本鋼管
	高木 伊織	吳造船所
	高橋 幸伯	東京大学
	中川 万蔵	三菱重工業
	中村 昭和	川崎重工業
幹事 小委員会委員	中村 一郎	日立造船
幹事	中村 彰一	大阪大学
小委員会委員	永元 隆一	三菱重工業
	長山 明	大阪造船所
	西牧 興	日立造船
幹事	服部 堅一	浦賀重工業
幹事 小委員会委員	福田 淳一	九州大学
幹事 小委員会委員	船木 俊彦	大阪大学
	松岡 史香	佐世保重工業
	真能 剛	海技大学校
	村上 幹彌	大阪商船三井船舶
幹事	森安 正浩	三菱重工業
	江義忠	川崎重工業
小委員会委員	山越道郎	九州大学
	山内保文	船舶技術研究所
小委員会委員	山本善之	東京大学
	吉識雅夫	東京大学

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 委員会，幹事会，船体断面係数小委員会の開催日時及び場所 .....	1
3. 長波頂正面不規則海面と短波頂不規則海面での船体中央部波浪曲げ .....	2
モーメントの関連について	
4. 波浪剪断力，波浪曲げモーメントの船長方向分布 .....	21
5. 正面規則波中で運動する船の船体表面に働く変動圧力 .....	41
6. 船体断面係数の検討 .....	74

記 号

- $\bar{A}$  ..... 進行波振幅と波振幅の比
- $B$  ..... 船幅
- $C_b$  ..... 方形係数
- $C_M$  ..... 中央横断面係数
- $C_p$  ..... 柱形係数
- $C_d K_4$  ..... 附加質量係数
- $D = \Sigma n_i / N_1$  ..... 疲労破壊の被害度
- $F$  ..... 波浪中の剪断力
- $F^*$  ..... 波浪中の剪断力の異常値
- $Fr$  ..... フルード数
- $F_s$  ..... 静水中の剪断力
- $H$  ..... 有義波高
- $H_e$  ..... 曲げモーメントの等価波高
- $I_A$  ..... 船体後半部重量の船体中央まわりの2次モーメント
- $I_F$  ..... 船体前半部重量の船体中央まわりの2次モーメント
- $K$  ..... 惯性半径
- $L$  ..... 垂直間長
- $M(M_w)$  ..... 波浪中の曲げモーメント
- $M^*$  ..... 波浪曲げモーメントの異常値
- $M_0$  ..... 波浪中の船体中央部曲げモーメント
- $M_s$  ..... 静水中の曲げモーメント
- $N_i$  .....  $\sigma_w > \sigma_{wi}$  の累積頻度
- $N_T$  ..... 波浪曲げ応力の総変動数
- $|P_H|$  ..... 変動圧力の振幅
- $|P_H^*|/\rho g d$  ..... 変動圧力の期待値
- $Q$  ..... 発現確率
- $R = |P_H|/\rho g H$  ..... 変動圧力の標準偏差
- $R_{\bar{w}}$  ..... 波浪剪断力の標準偏差
- $R_M$  ..... 波浪曲げモーメントの標準偏差
- $s$  ..... 横載面積
- $S$  ..... 断面係数の倍率(疲労被害に対する安全率)
- $S_0$  ..... 船体中央部の横載面積
- $T$  ..... 平均波周波
- $V_s$  ..... 船速

- $W$  ..... 船体重量  
 $W_A$  ..... 船体後半部重量  
 $W_F$  ..... 船体前半部重量  
 $Z$  ..... 断面係数  
 $a$  .....  $M_w$  と  $M_s$  とが疲労破壊に及ぼす比重を示す係数  
 $b$  ..... 係数  
 $c$  ..... 係数  
 $d$  ..... 深水  
 $g$  ..... 重力の加速度  
 $h_A$  ..... 波振幅  
 $l_A$  ..... 船体後半部の重心と船体中央との距離  
 $l_F$  ..... 船体前半部の重心と船体中央との距離  
 $n_i$  .....  $\sigma_{wi}$  の頻度  
 $x_G$  ..... 領心と船体中央との距離  
 $w$  ..... Square Station 間の重量  
 $\beta = \sigma_m / \sigma_a$   
 $\xi_d = \frac{W_e^2}{g} d$   
 $\delta_F = \frac{F / \rho g L^2 B (Q=10^8) \text{ All Headings in the Short Crested Seas}}{F / \rho g L^2 B (Q=10^7) \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}$   
 $\delta_M = \frac{M / \rho g L^3 B (Q=10^8) \text{ All Headings in the Short Crested Seas}}{M / \rho g L^3 B (Q=10^7) \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}$   
 $\delta_{MO} = \frac{M \sqrt{\rho g L^3 B (Q=10^8)} \text{ All Headings in the Short Crested Seas}}{M \sqrt{\rho g L^3 B (Q=10^7)} \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}$   
 $\lambda$  ..... 波長  
 $\psi$  ..... 規則波に対する針路  
 $\theta$  ..... 成分波に対する針路  
 $\rho$  ..... 水の密度  
 $\sigma_a$  ..... 応力振巾  
 $\sigma_m$  ..... 平均応力  
 $\sigma_s$  ..... 静水曲げ応力  
 $\sigma_{wi}$  ..... 波浪曲げ応力  $KG/cm^2$   
 $\sigma_{wo}$  ..... 最大波浪曲げ応力  
 $\omega_e$  ..... 出合い円周波数

## 1. 緒 言

本研究は波浪中における船体の縦曲げモーメントを理論的に求め、これと近年集められた多くの波浪の統計的観測値とから船体にかかる波浪荷重を推定し、船体縦強度に関する基礎資料を得るのが主目的である。さらにまた、船体の表面に作用する圧力分布を理論的に求め船体横強度および局部強度を検討するための荷重分布を求めることも目的とする。

波浪縦曲げモーメントについては、41年度に正面規則波中の応答関数を求め、一部の船型については長波頂正面不規則海面における曲げモーメントの短期分布を線型重畠法と統計理論を応用して計算した。42年度は14種の船型について41年度に求められた波浪曲げモーメントの応答関数を基として長波頂正面不規則海面での短期分布を求め北大西洋における海面の長期観測資料を用いて長波頂正面不規則海面での長期分布を求めた。本年度は波に対する船の針路を考慮に入れた短波頂不規則海面での船体中央部曲げモーメントの長期分布を求め42年度に求めた長波頂正面不規則海面での長期分布との関連を調査した。また、波浪剪断力、曲げモーメントの船長方向の分布の形状を求め、剪断力、曲げモーメントの最大値及びその船長方向の位置を調査した。さらに油送船の基準船型については、船体中央部の他に2種の重要な断面について短波頂不規則海面、長波頂正面不規則海面での長期分布を検討した。

次に船体表面に働く変動圧力の分布の計算については、42年度に正面規則波中で運動する船体の表面に働く変動圧力を求めるために電子計算機のプログラムを作成し、 $C_b$  の異なる貨物船船型3種類及び油送船船型1種類について船体中央断面に働く変動圧力の応答関数を計算した。また貨物船及び油送船の標準船型については、船体中央部より前後に夫々  $L/4$  の位置の断面に働く変動圧力の応答関係も求めた。本年度は貨物船および油送船の標準船型について、42年度に求められた応答関数を基とし、これに周波数のさらに広い範囲における計算を追加し、長波頂正面不規則海面での船体中央断面に働く変動圧力の短期分布を求め、さらに縦曲げモーメントの場合と同様に北大西洋における海面の長期観測資料を用いて長波頂正面不規則海面での長期分布を求めた。

上記の計算結果をもじいて船体の断面係数の決定法を検討するために耕田委員を委員長とする船体断面係数小委員会がSR90研究部会内に設けられ、波浪縦曲げモーメントの長期分布を用いて縦強度、疲労強度の面から船体断面係数の決定法が検討された。

## 2. 委員会、幹事会、船体断面係数小委員会の開催日時及び場所

第7回	幹 事 会	昭和43年4月 8日	日本船舶クラブ
第10回	委 員 会	昭和43年7月12日	日本造船研究協会
第8回	幹 事 会	昭和43年9月28日	日本造船研究協会
第1回	船体断面係数小委員会	昭和43年10月29日	日本海事協会
第9回	幹 事 会	昭和43年11月26日	日本造船研究協会
第2回	船体断面係数小委員会		
第10回	幹 事 会	昭和44年1月31日	日本造船研究協会
第3回	船体断面係数小委員会		
第11回	委 員 会	昭和44年3月10日	日本船舶クラブ

### 3. 長波頂正面不規則海面と短波頂不規則海面での船体中央部 波浪曲げモーメントの関連について

船の波に対する針路を考慮に入れた短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントと42年度に求めた長波頂正面不規則海面での波浪曲げモーメントとの関連を求めるために、基準船型 ( $C_{70} = 6.5 \dots\dots$  貨物船…… $L/B = 7.0$ ,  $C_b = 0.65$ ,  $T_6080 \dots\dots$  油送船…… $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$ ) について短波頂不規則海面での計算を行つた。

#### 3.1 正面規則波中、斜規則波中の波浪曲げモーメントの応答関数の比較

*Table 1* の船体主要目的基準船型について載荷状態は満載状態であるとし *Table 2* に示す重量分布を仮定して *Table 3* に示される針路、船速、波長の組合せについて計算を行つた。

貨物船の基準船型  $C_{70} = 6.5$  の波浪曲げモーメントの応答関数を *Fig. 1~3* に針路  $\psi$  をパラメーターとして  $\sqrt{L/\lambda}$  の関数として示し、*Fig. 4~6* に  $\sqrt{L/\lambda}$  をパラメーターとして針路  $\psi$  の関数として示す。*Fig. 7* は  $\sqrt{L/\lambda} = 1.0$  の正面迎波 ( $\psi = 0^\circ$ )、横波 ( $\psi = 90^\circ$ )、追波 ( $\psi = 180^\circ$ ) の場合について船速の関数として示した。油送船の基本船型  $T_6080$  については同じような表現法で *Fig. 8~14* に示す。

以上の計算結果より下記のことが云える。

一般に波浪曲げモーメントの応答関数に対する針路の影響は、正面迎波 ( $\psi = 0^\circ$ ) および追波 ( $\psi = 180^\circ$ ) より士  $30^\circ$  程度の範囲で応答関数が大きく、横波 ( $\psi = 90^\circ$ ) より士  $30^\circ$  程度の範囲で小さくなる。正面迎波と追波の場合について比較すると  $C_{70} = 6.5$  ではフルード数が 0.10 程度 ( $L = 150m$ ,  $V_s = 9.71kt$ ),  $T_6080$  ではフルード数が 0.15 程度 ( $L = 250m$ ,  $V_s = 14.4kt$ ) の低速では追波の方が正面迎波におけるより応答関数は大きいが、高速になると逆に正面迎波における方が応答関数は大きくなる。

また応答関数がピークを示す位置は、フルード数が 0.10 ~ 0.20 の範囲では正面迎波、追波共に  $\sqrt{L/\lambda} = 1.0$  ~ 1.1 の附近であり  $L = 150m$  の貨物船では約 9 秒、 $L = 250m$  の油送船では約 13 秒の波周期をもつ規則波中に相当する。なお  $C_{70} = 6.5$  でフルード数が 0.30 ( $L = 150m$ ,  $V_s = 29.1kt$ ) の高速では *Fig. 3* にみられるように応答関数の形が正面迎波と追波では非常に異つていて、 $\omega_e = 0$  に相当する波長で極端に大きい値を示している。このことについては 3.4 で述べる。

*Table 1* 貨物船、油送船の基準船型の主要目

TYPE	Cargo Ship	Tanker
Length/Breadth	$L/B$	7.0
Breadth/Draught	$B/d$	2.5
Brock Coefficient	$C_b$	0.650
Midship Section Coefficient, $C_M$	0.982	0.994

Table 2 貨物船、油送船の基準船型の重量分布

TYPE		Cargo Ship	Tanker
Afterbody Weight	$W_A/W$	0.5120	0.4874
Forebody Weight	$W_F/W$	0.4880	0.5126
Afterbody C.G. from $\otimes$	$l_A/L$	-0.2100*	-0.1800*
Forebody C.G. from $\otimes$	$l_F/L$	0.2100	0.2200
Afterbody 2nd Mt about $\otimes$	$I_A/WL^2$	0.0281	0.0312
Forebody 2nd Mt about $\otimes$	$I_F/WL^2$	0.0295	0.0219
C.G. from $\otimes$	$x_G/L$	-0.0050*	0.0251
Longitudinal Gyroadius	$K/L$	0.2400	0.2300
Still Water Bending Moment $M_{sw}/WL$		0.0152	-0.0042**

Table 3 斜規則波中の波浪曲げモーメント応答関数の計算状態

TYPE		Cargo Ship	Tanker
Froude Number	$Fr$	0.1, 0.2, 0.3	0.10, 0.15, 0.20
Wave Length	$\sqrt{L/\lambda}$	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 0.95, 1.00, 1.05, 1.11, 1.15, 1.2, 1.3 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0	
Heading Angle to Wave	$\psi(\text{deg})$	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$	

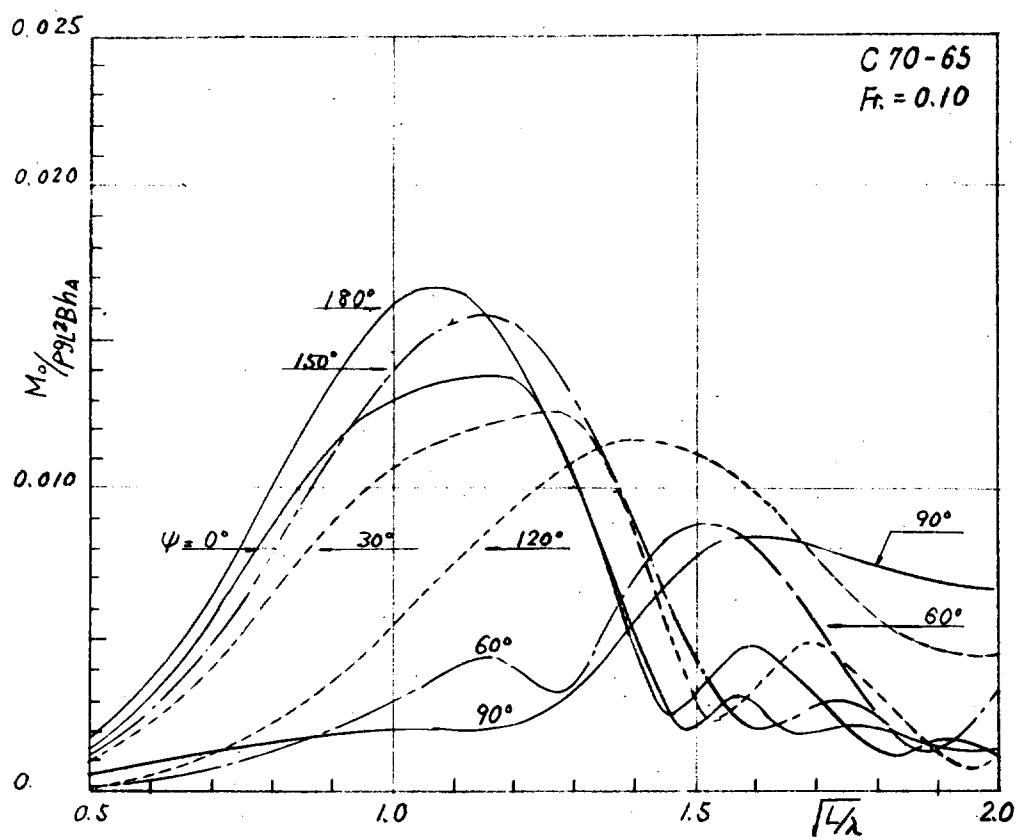


Fig. 1 Responce Operators of Wave Bending  
Moment at Midship

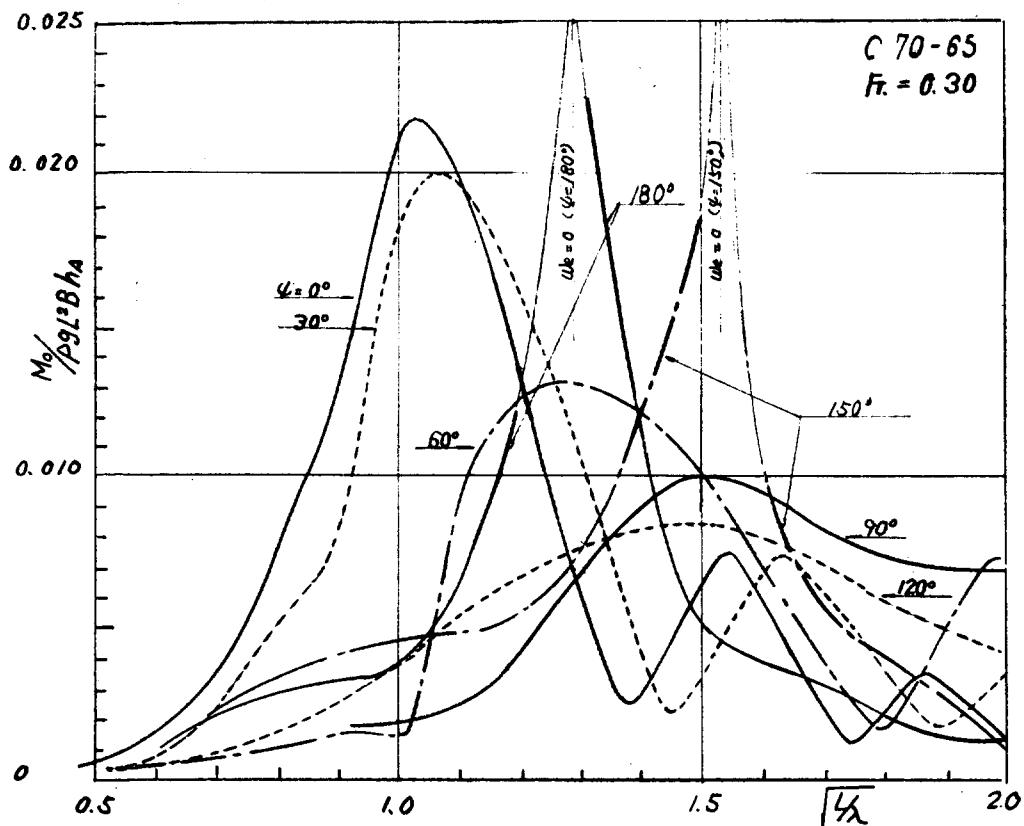


Fig. 3 Responce Operators of Wave Bending  
Moment at Midship

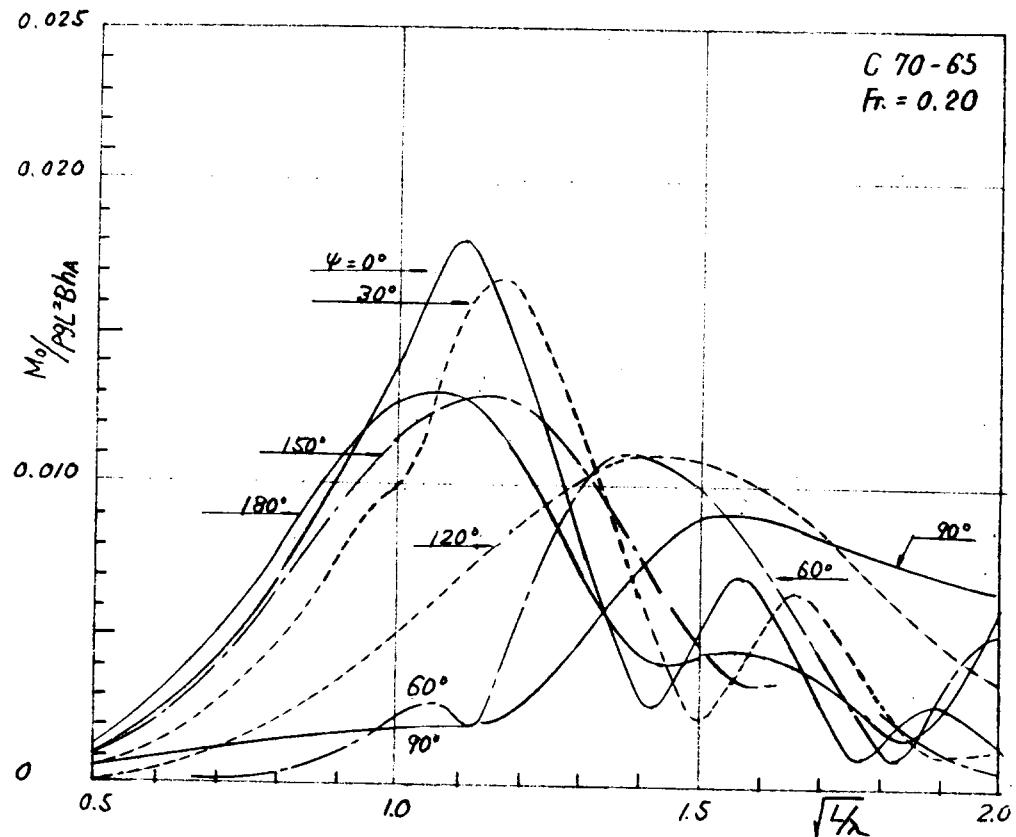


Fig. 2 Responce Operators of Wave Bending Moment at Midship

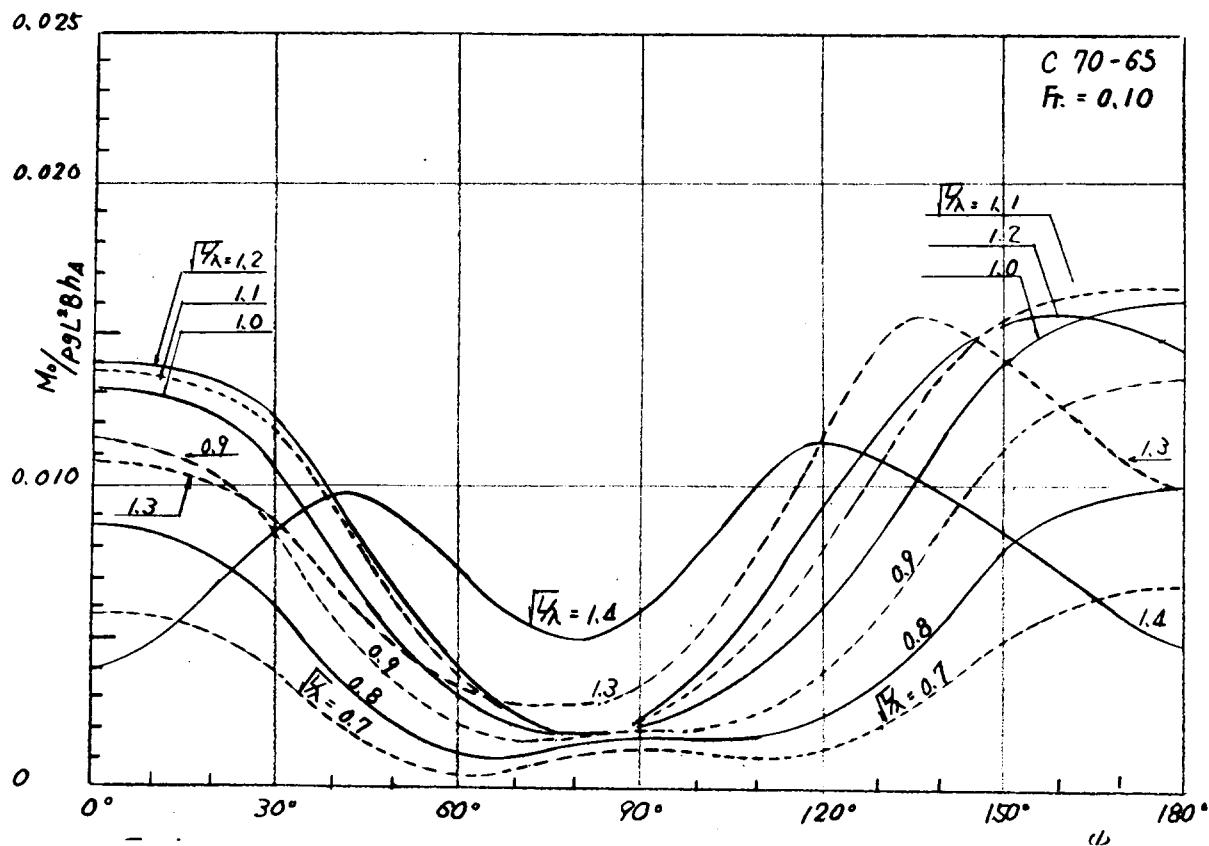


Fig. 4 Wave Bending Moment at Midship as a Function of Ship Course

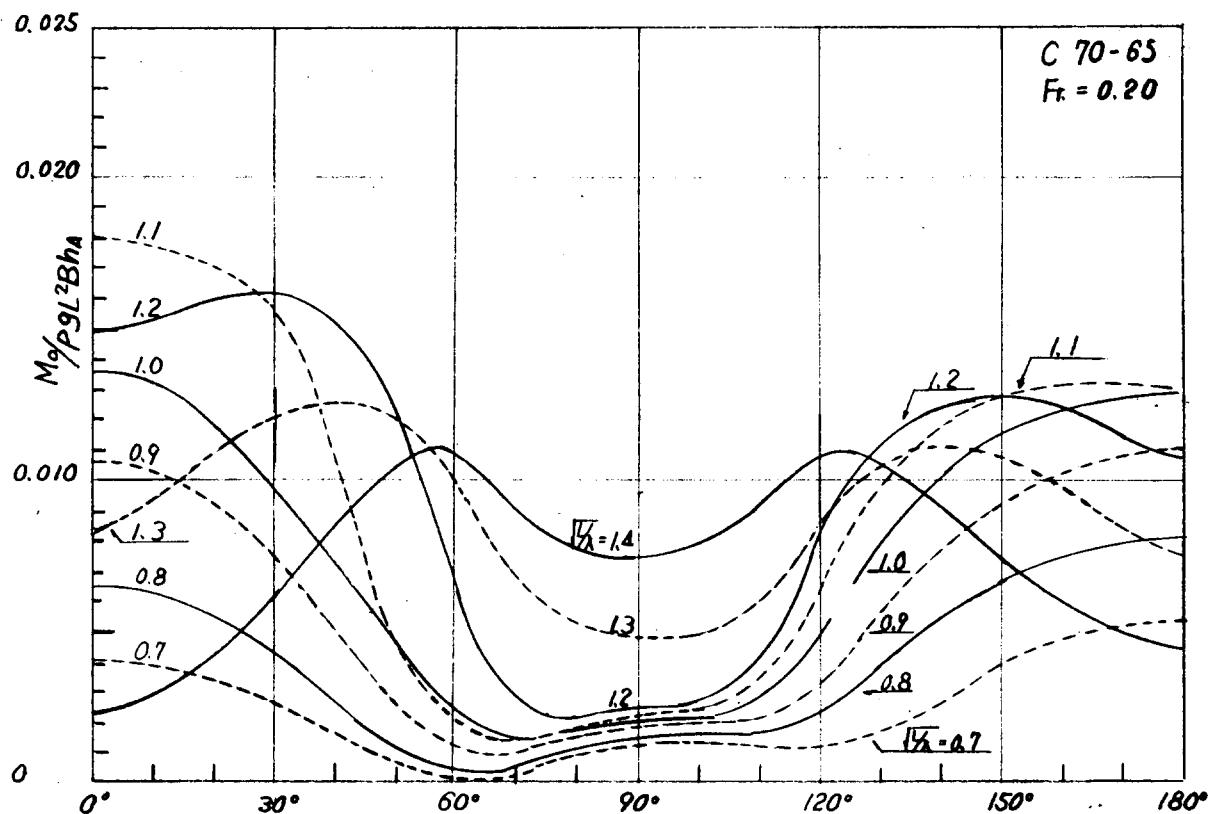


Fig. 5 Wave Bending Moment at Midship as a Function of Ship Course

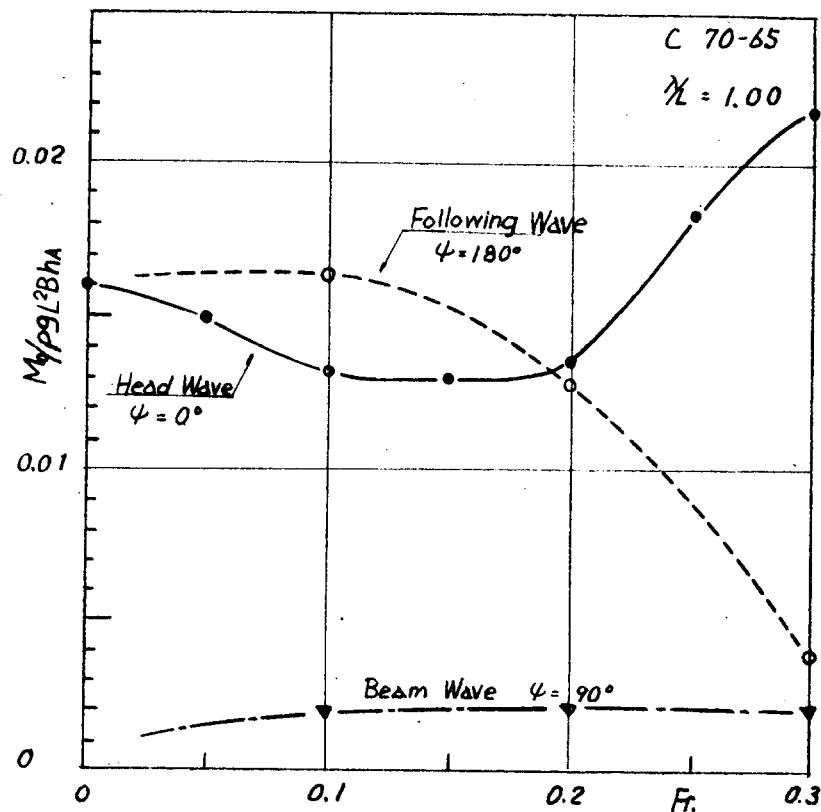


Fig. 7

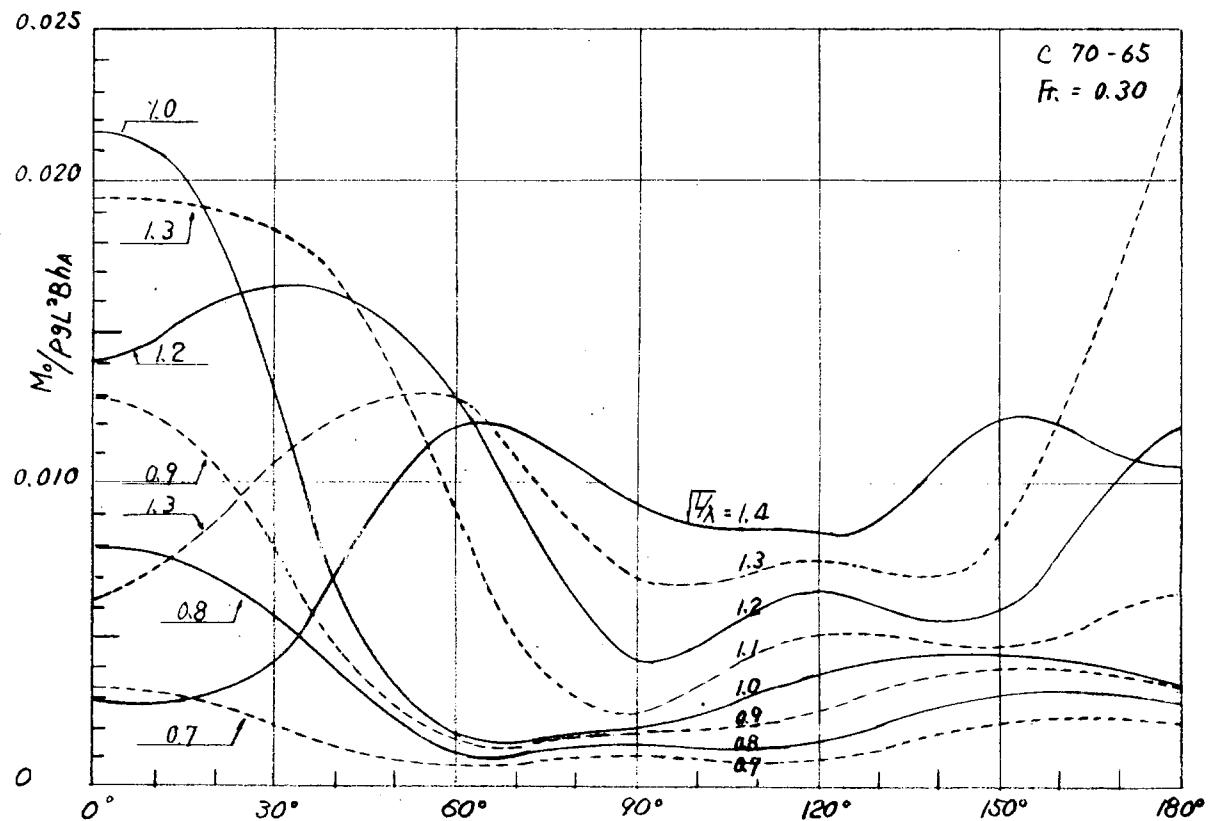


Fig. 6 Wave Bending Moment at Midship as a Function  
of Ship Course

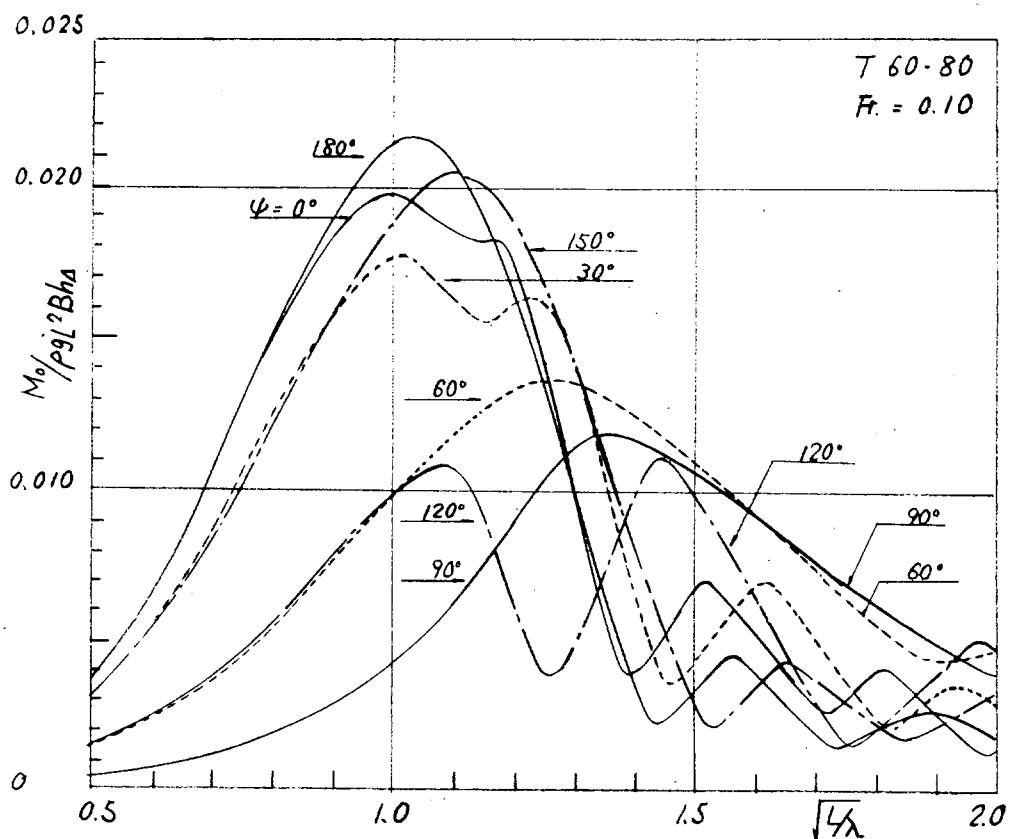


Fig. 8 Response Operators of Wave Bending  
Moment at Midship

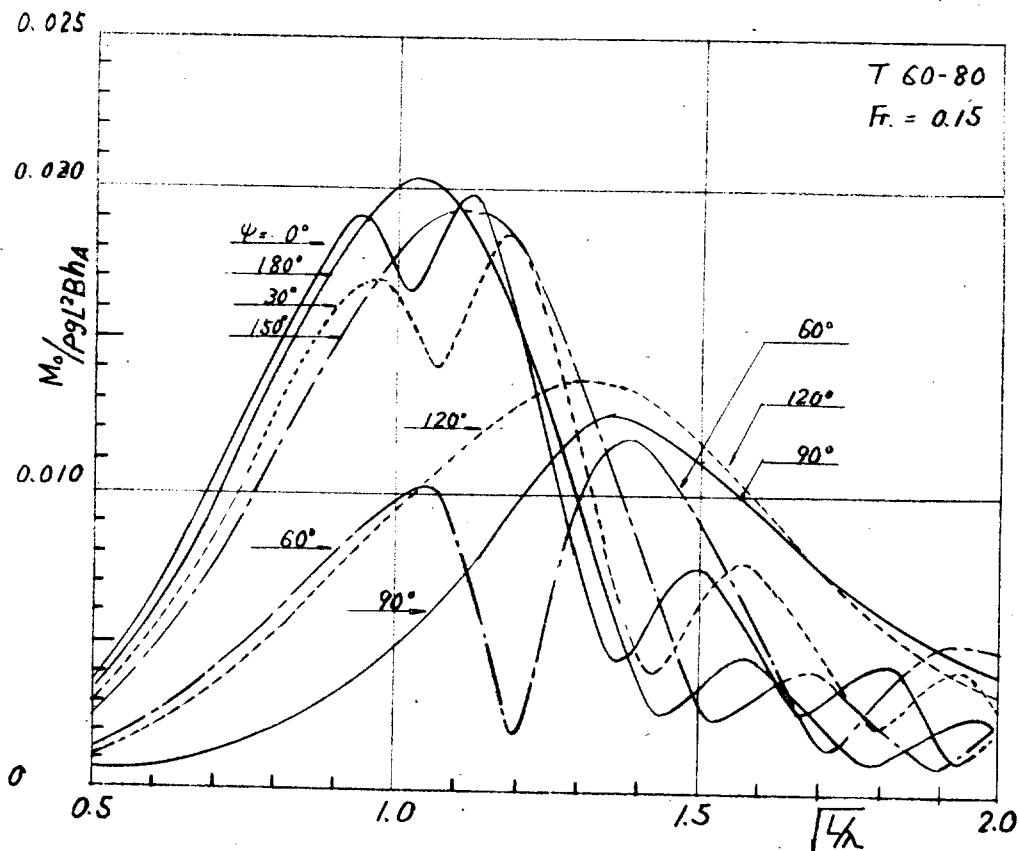


Fig. 9 Response Operators of Wave Bending Moment at Midship

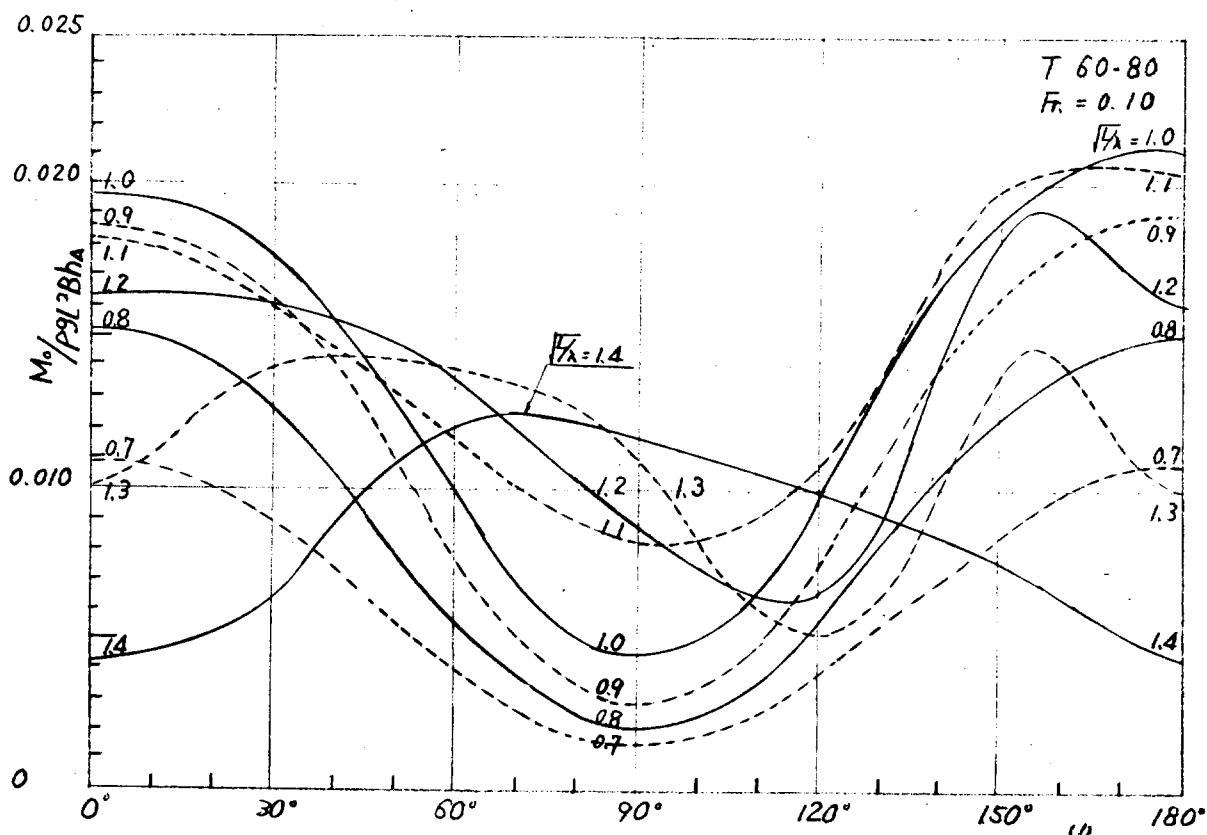


Fig. 11 Wave Bending Moment at Midship as a Function of Ship Course

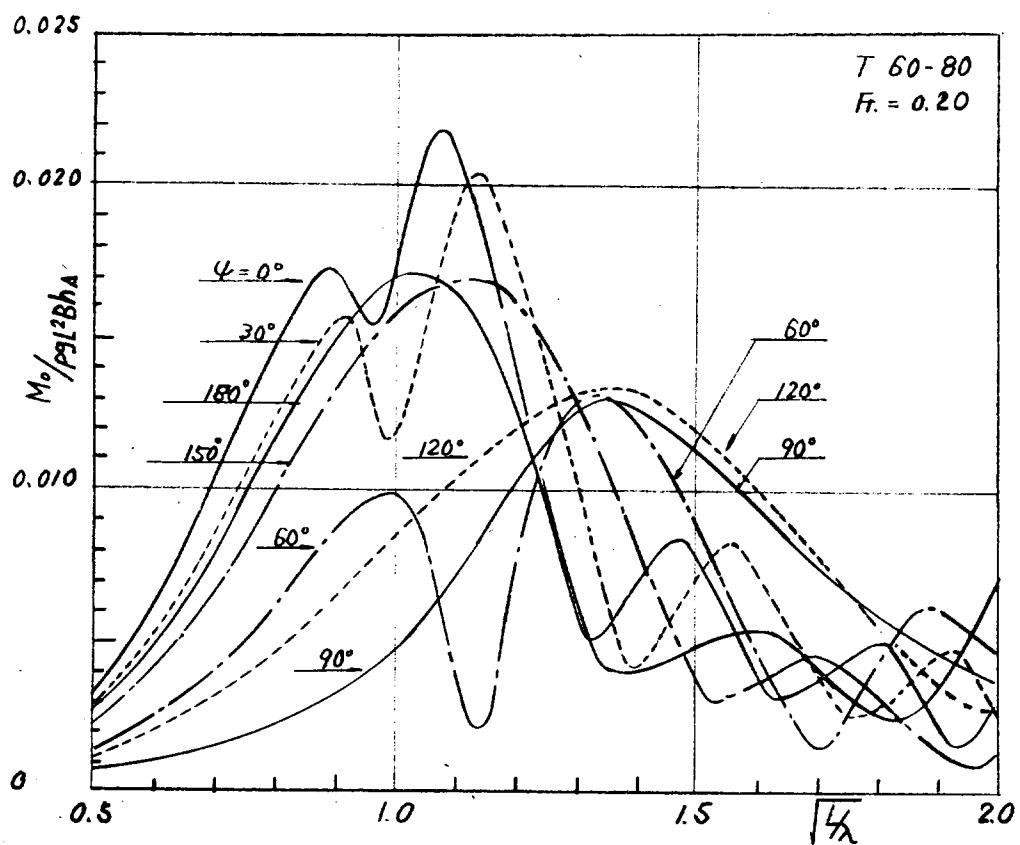


Fig. 10 Response Operators of Wave Bending Moment at Midship

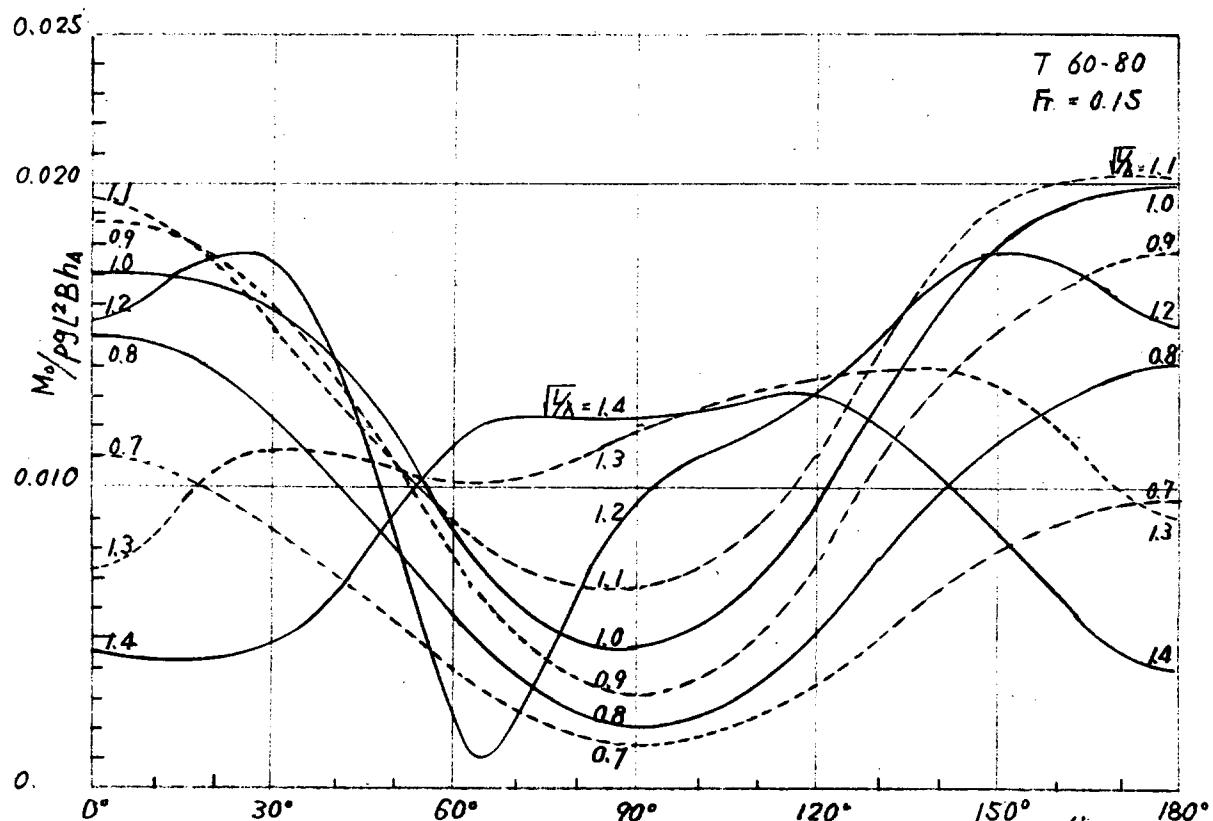


Fig. 12 Wave Bending Moment at Midship as a Function of Ship Course

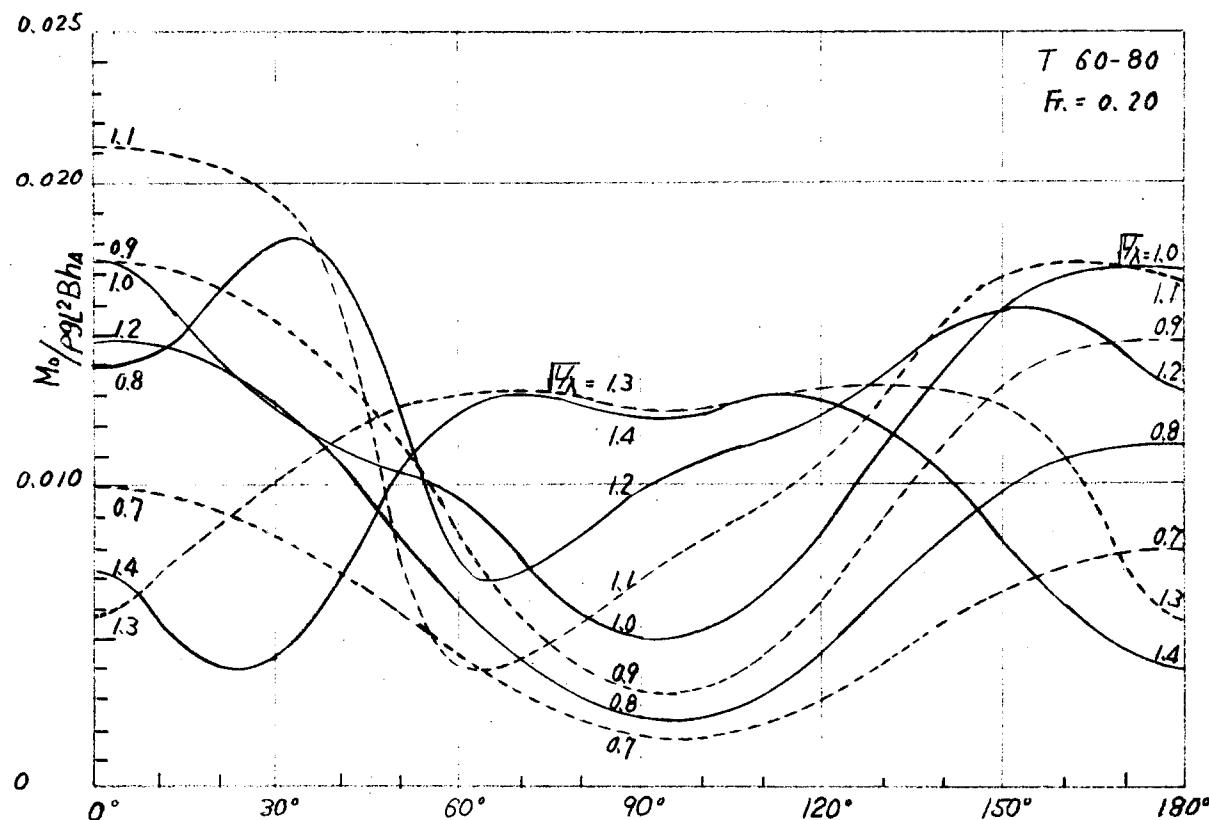


Fig. 13 Wave Bending Moment at Midship as a Function of Ship Course

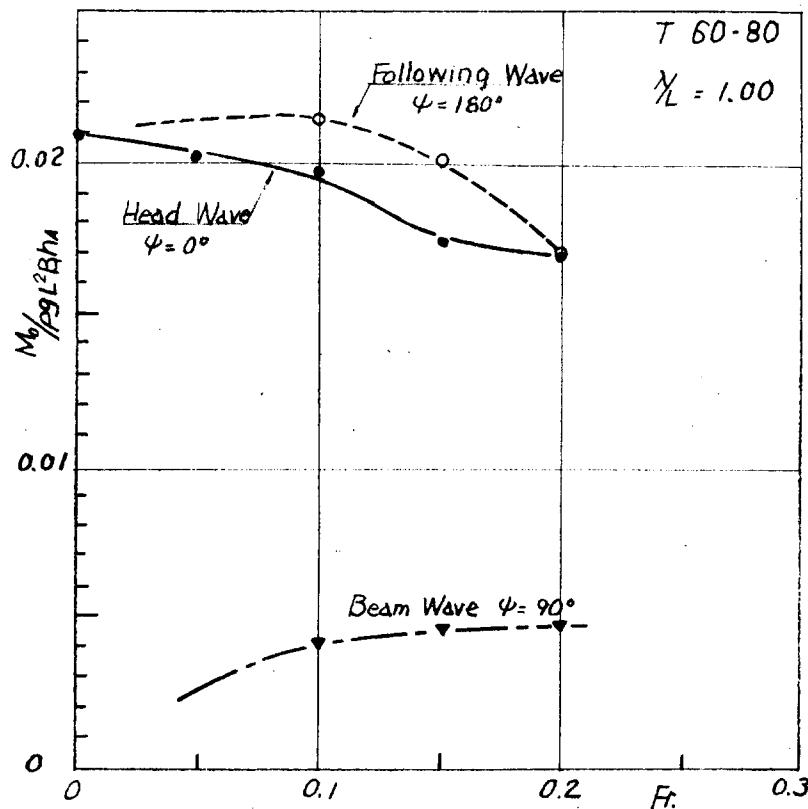


Fig. 14

### 3.2 長波頂不規則海面、短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントの短期分布の比較

3.1で求めた斜規則波中の波浪曲げモーメントの応答関数とI.S.S.C 波スペクトルとからSl. Denis, Pierson の線型重畠法をもじいて42年度報告書P.17(4.1)(4.2)により長波頂不規則海面、短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントの標準偏差をTable 4に示される船長、船速、針路、平均波周期の組合せについて求めた。

貨物船の基準船型C7065の波浪曲げモーメントの標準偏差はFig.15~16に平均波周期の関数として針路をパラメーターとして示し、Fig.17~18に船長の関数として平均波周期をパラメーターとして示す。油送船の基準船型T6080についてはFig.19~22に示す。

以上の計算結果から下記のことがいえる。

一般に波浪曲げモーメントの標準偏差は正面迎波( $\theta = 0^\circ$ )、追波( $\theta = 180^\circ$ )で大きな値を示す。長波頂不規則海面、短波頂不規則海面での標準偏差を比較すると正面迎波、追波およびこれらに近い状態では長波頂不規則海面での値が大きく、横波およびこれに近い状態では短波頂不規則海面での値が若干大きい。

また標準偏差が最大となる平均波周期は短波頂不規則海面の方が若干小さめである。即ち、 $L = 150\text{m}$ の貨物船では標準偏差が最大となるのは長波頂不規則海面で約8秒、短波頂不規則海面で約7秒、 $L = 250\text{m}$ の油送船では長波頂不規則海面で約11秒、短波頂不規則海面で約10.5秒である。これらは正面規則波中で波浪曲げモーメントの応答関数が最大となる波周期(150mの貨物船で約9秒、250mの油送船で約13秒)に比べて若干小さい。

Table 4 長波頂不規則海面、短波頂不規則海面での短期分布の計算状態

TYPE	Cargo Ship	Tanker
Froude Number $Fr$	0.1, 0.2, 0.3	0.10, 0.15, 0.20
Ship Length $L(\text{m})$	50, 75, 100, 125 150, 175, 200	150, 200, 250, 300, 400
Mean Wave Period $T(\text{sec})$	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	
Ship Course Angle $\theta(\text{deg})$	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$	

IN THE LONG CRESTED WAVES

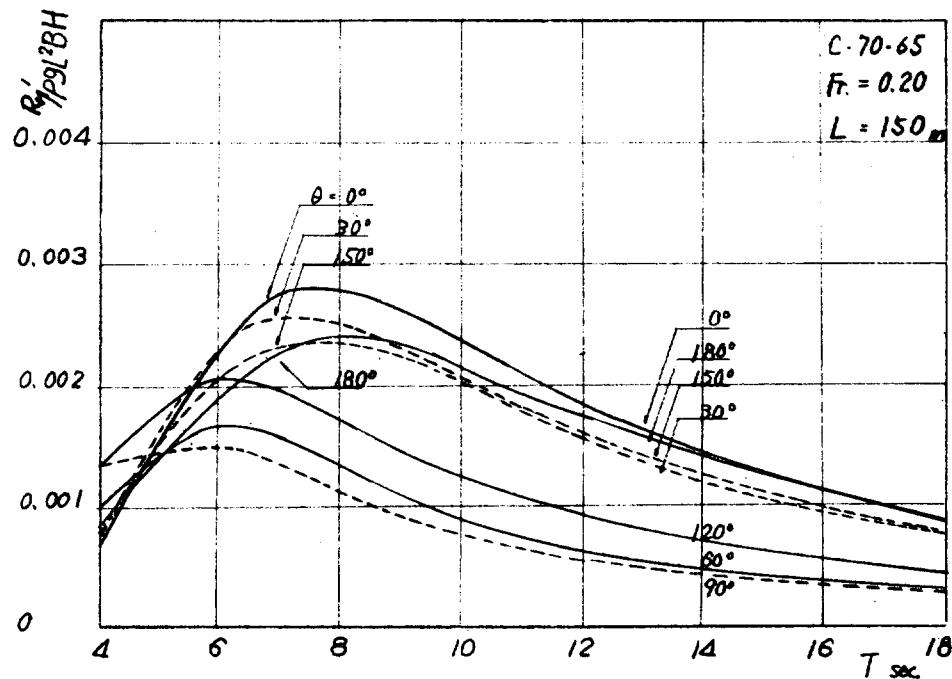


Fig.15 Short Term Distributions of Wave Bending Moment at Midship as a functions of visual Wave period

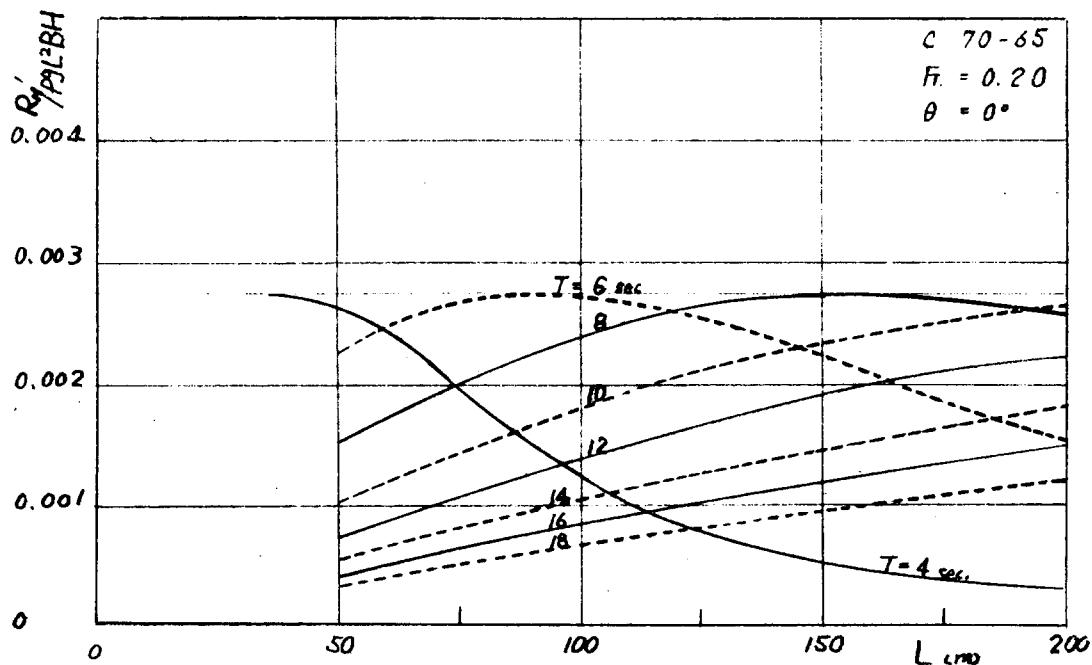


Fig.17 Short Term Distribution of Wave Bending Moment at Midship as a functions of Ship Length

IN THE SHORT CRESTED WAVES

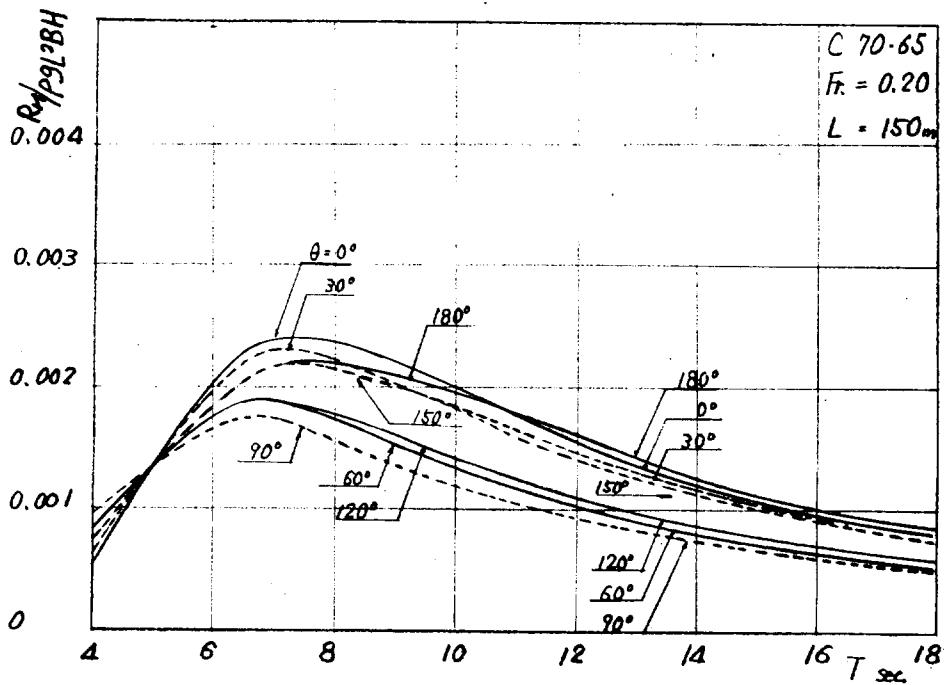


Fig. 16 Short Term Distributions of Wave Bending Moment at Midship as a functions of visual Wave period

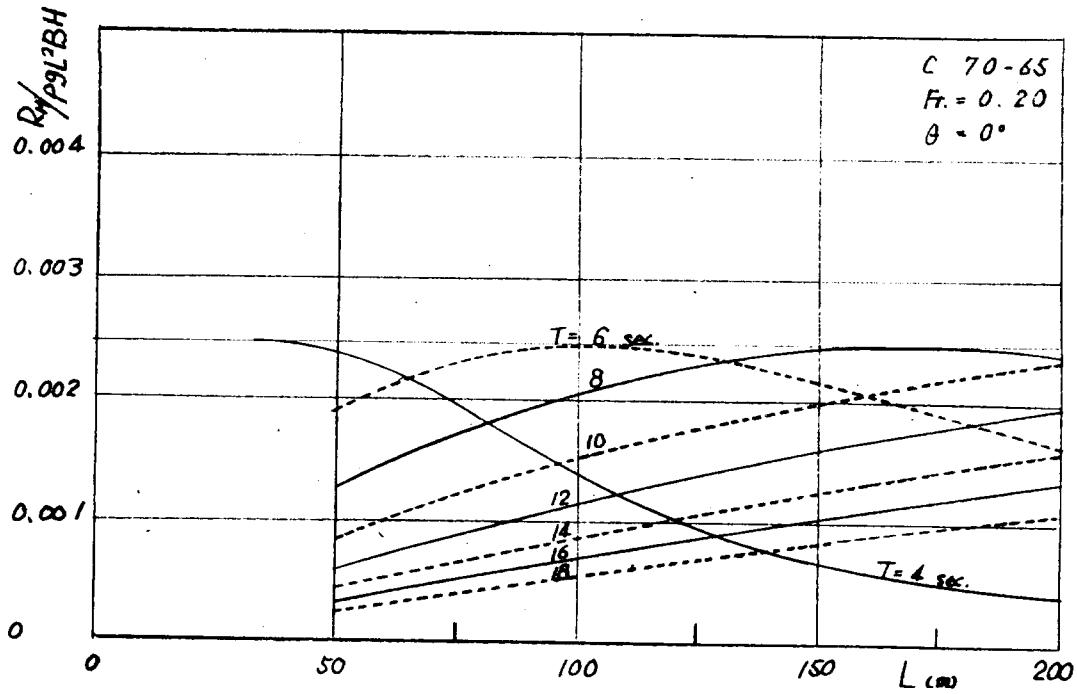


Fig. 18 Short Team Distribution of Wave Bending Moment at Midship as a functions of Ship Length

IN THE LONG CRESTED WAVES

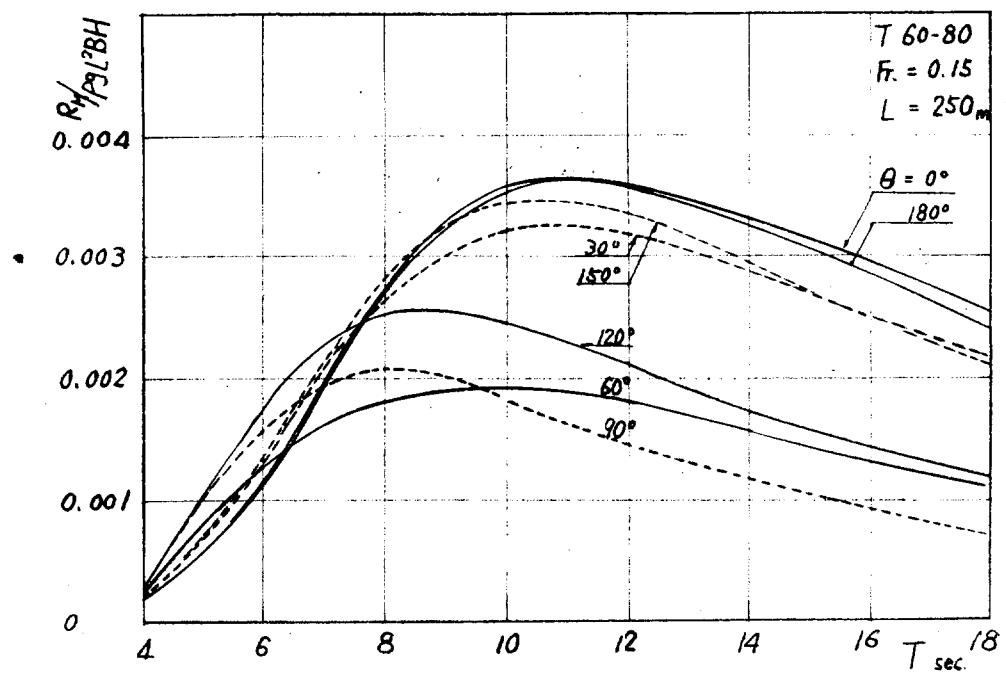


Fig. 19 Short Term Distributions of Wave Bending Moment at Midship as a functions of visual Wave period

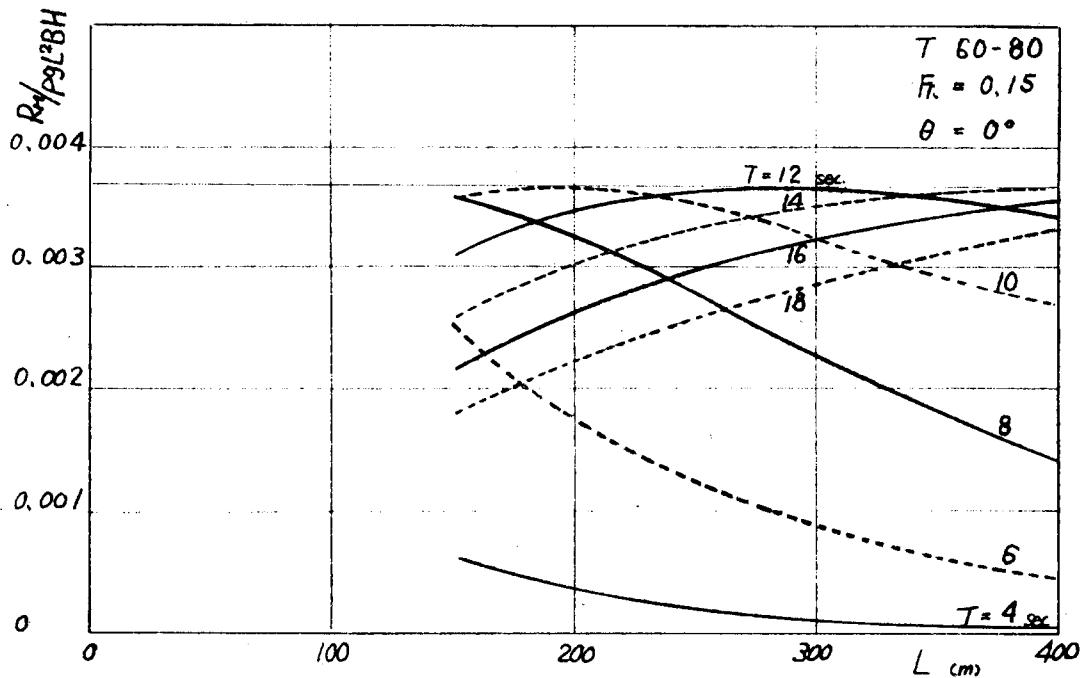


Fig. 21 Short Team Distribution of Wave Bending Moment at Midship as a functions of Ship Length

IN THE SHORT CRESTED WAVES

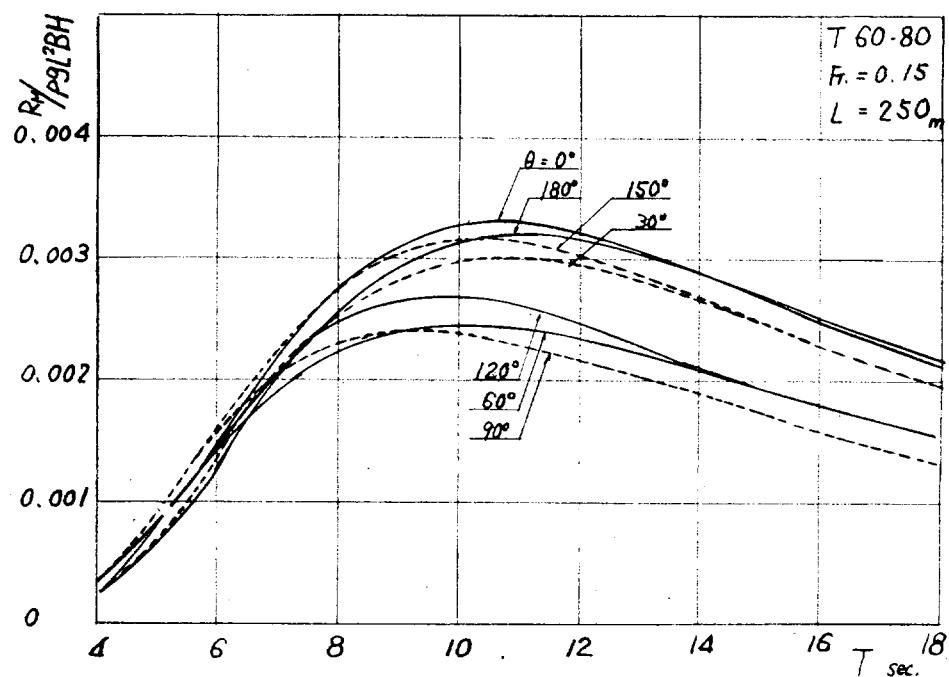


Fig. 20 Short Term Distributions of Wave Bending Moment at Midship as a functions of visual Wave period

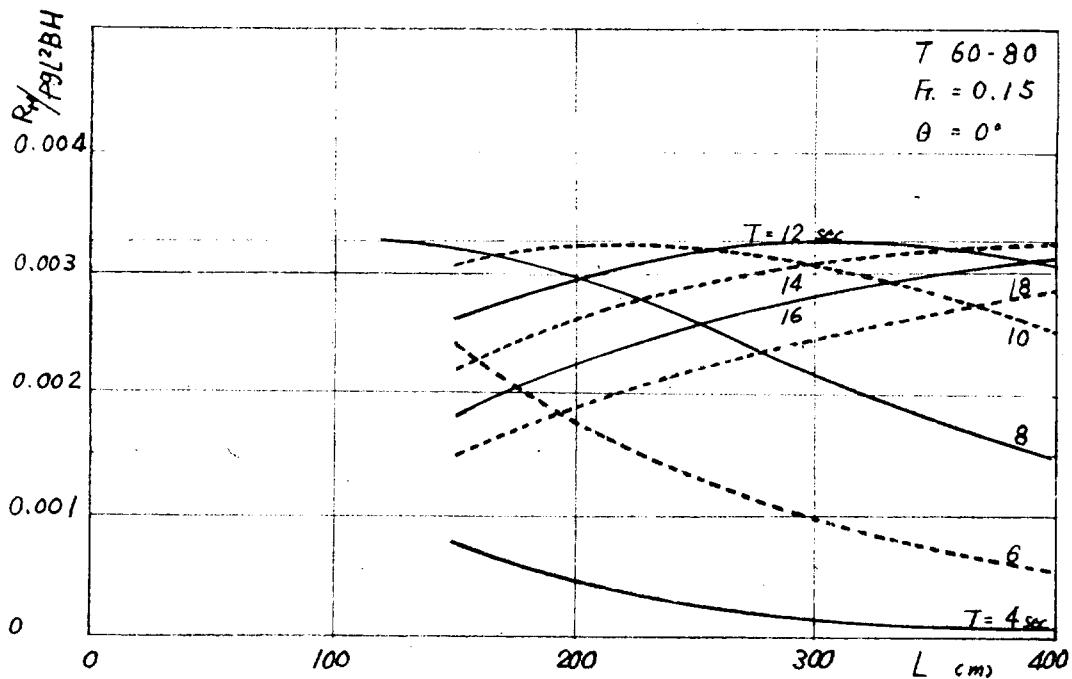


Fig. 22 Short Team Distribution of Wave Bending Moment at Midship as a functions of Ship Length

### 3.3 長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントの長期分布の比較

3.2で求めた短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントの短期分布とWaldenの北大西洋の海面状態の長期観測資料とから42年度報告書(5.3.2), (5.5.3)式をもじいて波浪曲げモーメントの異常値とその発現確率との関係をTable 5に示される船長、針路、船速の組合せについて求め、42年度に求めた長波頂正面不規則海面での長期分布と比較する。

貨物船の基準船型C7065の波浪曲げモーメントの長期分布をFig. 23~24に示す。Fig. 23は長波頂正面不規則海面、および短波頂不規則海面で船の波に対する針路の確率が $0^\circ \sim 360^\circ$ の範囲に一様に分布していると考えたAll Headingsの場合の波浪曲げモーメントの異常値を船長をパラメーターとし発現確率の関数として示す。Fig. 24は長波頂正面不規則海面で発現確率が $Q = 10^{-7}$ である波浪曲げモーメントの最大値、およびこれに対応する等価波高と、短波頂不規則海面のAll Headingsで発現確率が $\theta = 10^{-8}$ である波浪曲げモーメントの最大値、およびこれに對応する等価波高をフルード数をパラメーターとし船長の関数として示し、両者を比較したものである。油送船の基準船型T6080についてはFig. 25~26に示す。またTable 6に短波頂不規則海面のAll Headingsで発現確率が $\theta = 10^{-8}$ である波浪曲げモーメントの最大値と長波頂正面不規則海面で発現確率が $\theta = 10^{-7}$ である最大値との比を船長、船速をパラメーターとして示す。

以上の計算結果から下記のことがいえる。

短波頂不規則海面で波に対する船の針路の確率が $0^\circ \sim 360^\circ$ の範囲に一様に分布していると考えたAll Headingsで発現確率が $\theta = 10^{-8}$ である波浪曲げモーメントの最大値は長波頂正面不規則海面で発現確率が $\theta = 10^{-7}$ である最大値にはほぼ等しい。

Table 5 長波頂不規則海面、短波頂不規則海面での長期分布の計算状態

TYPE	Cargo Ship	Tanker
Froude Number $Fr$	0.1, 0.2, 0.3	0.10, 0.15, 0.20
Ship Length $L(m)$	50, 75, 100, 125 150, 175, 200	150, 200, 250 300, 400
Ship Course Angle $\theta(\text{deg})$	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, \text{MEAN}$	***

\* \* \* ..... 短波頂不規則海面での平均値

Table 6  $M_0/\rho g L^3 B(Q=10^{-8})$  All Headings in the Short Crested Irregular Seas

$$\delta_{MO} = \frac{M_0/\rho g L^3 B(Q=10^{-8}) \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}{M_0/\rho g L^3 B(Q=10^{-7}) \text{ in the Short Crested Irregular Seas}}$$

Cargo Ship				Tanker				
$Fr$	0.10	0.20	0.30	$Fr$	0.10	0.15	0.20	
$\delta_{MO}$	50	1.043	0.917	0.886	150	0.945	0.920	0.902
	75	1.074	0.923	0.922	200	0.961	0.940	0.908
	100	1.116	0.892	0.953	250	0.976	0.975	0.912
	125	1.101	0.971	0.983	300	0.978	0.955	0.925
	150	1.060	0.953	0.912	400 m	0.980	0.961	0.920
	175	1.053	0.921	0.935				
	200 m	1.149	0.900	0.905				

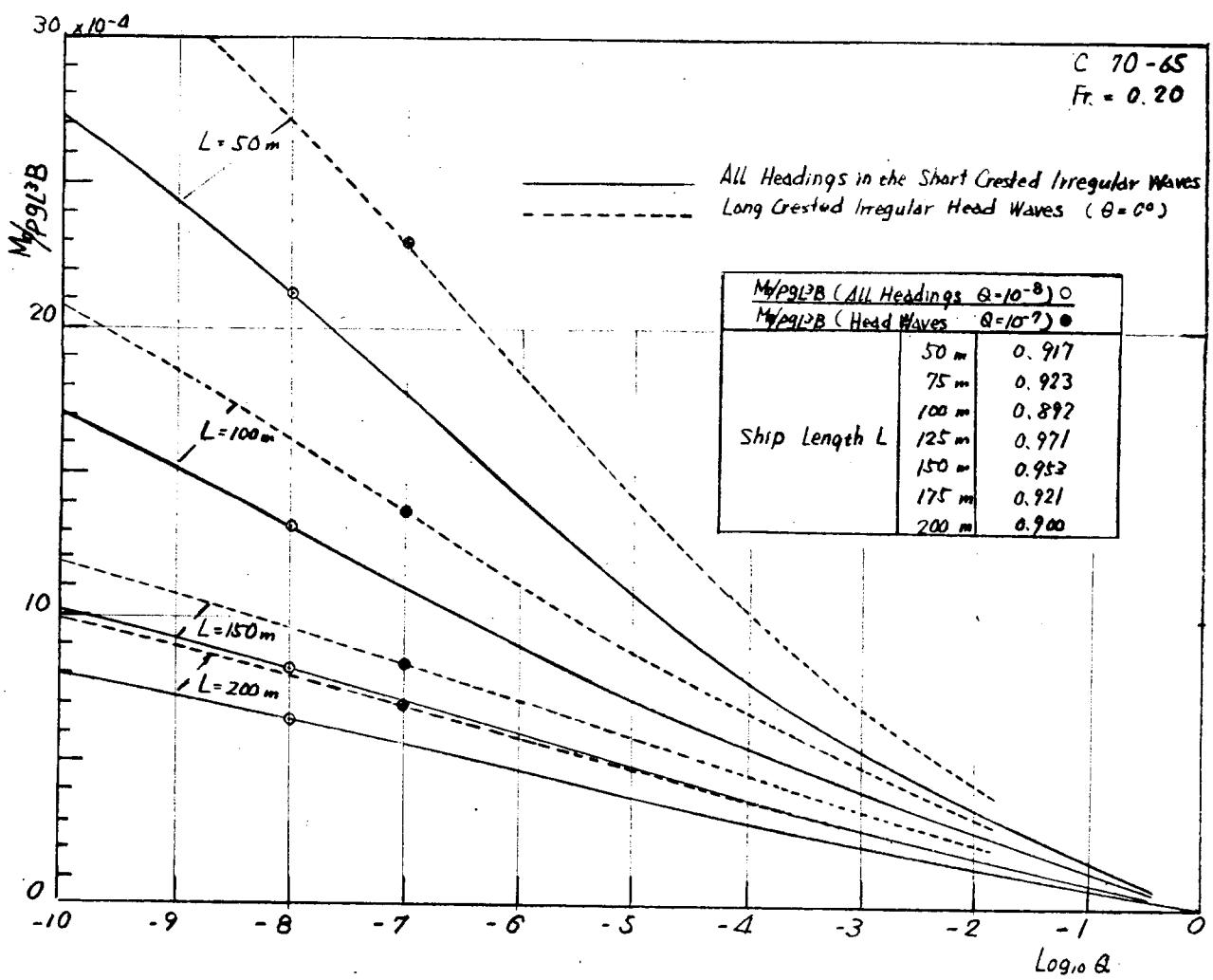


Fig. 23 Long Term Distribution of Wave Bending Moment at Midship

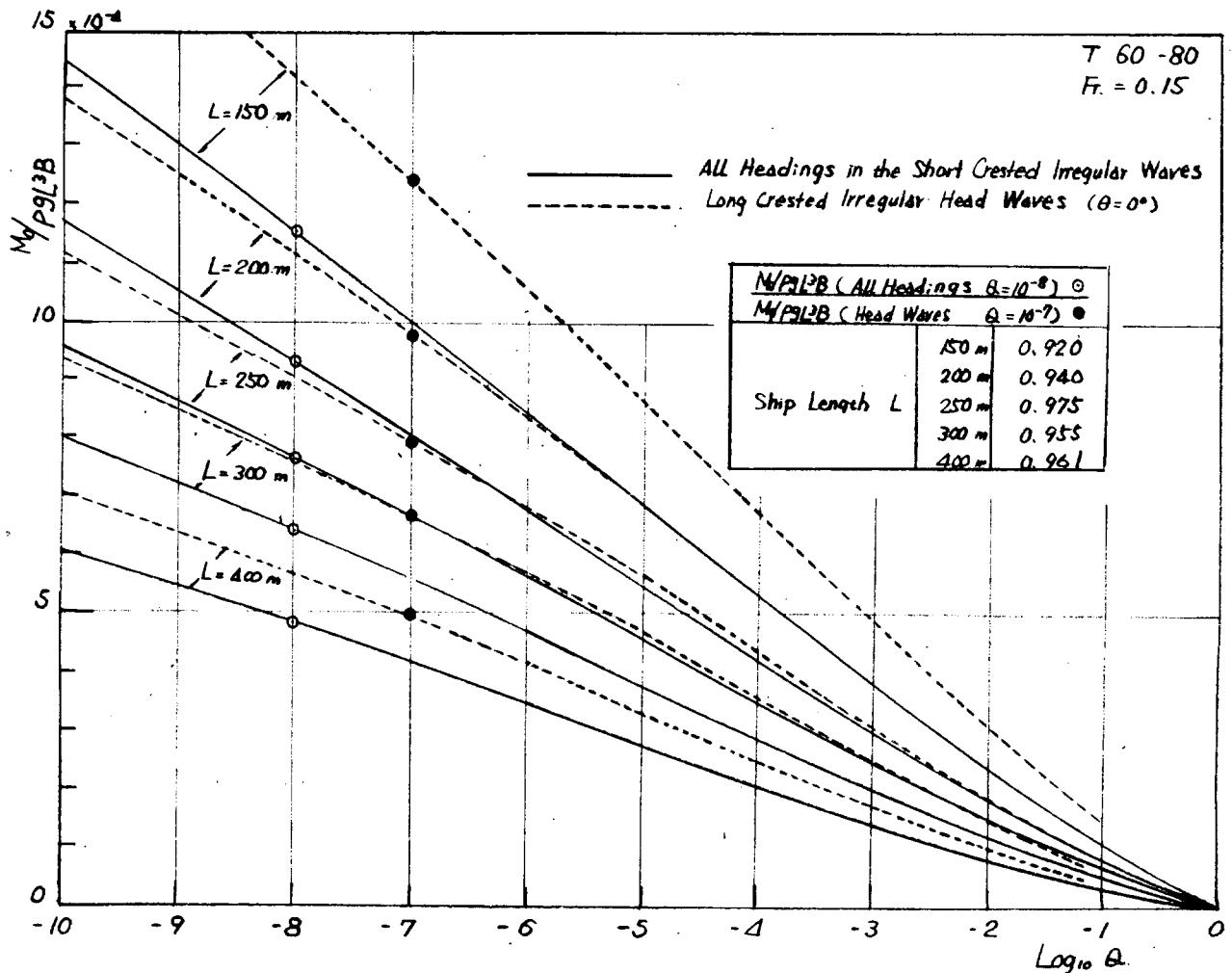


Fig. 25 Long Term Distribution of Wave Bending Moment at Midship

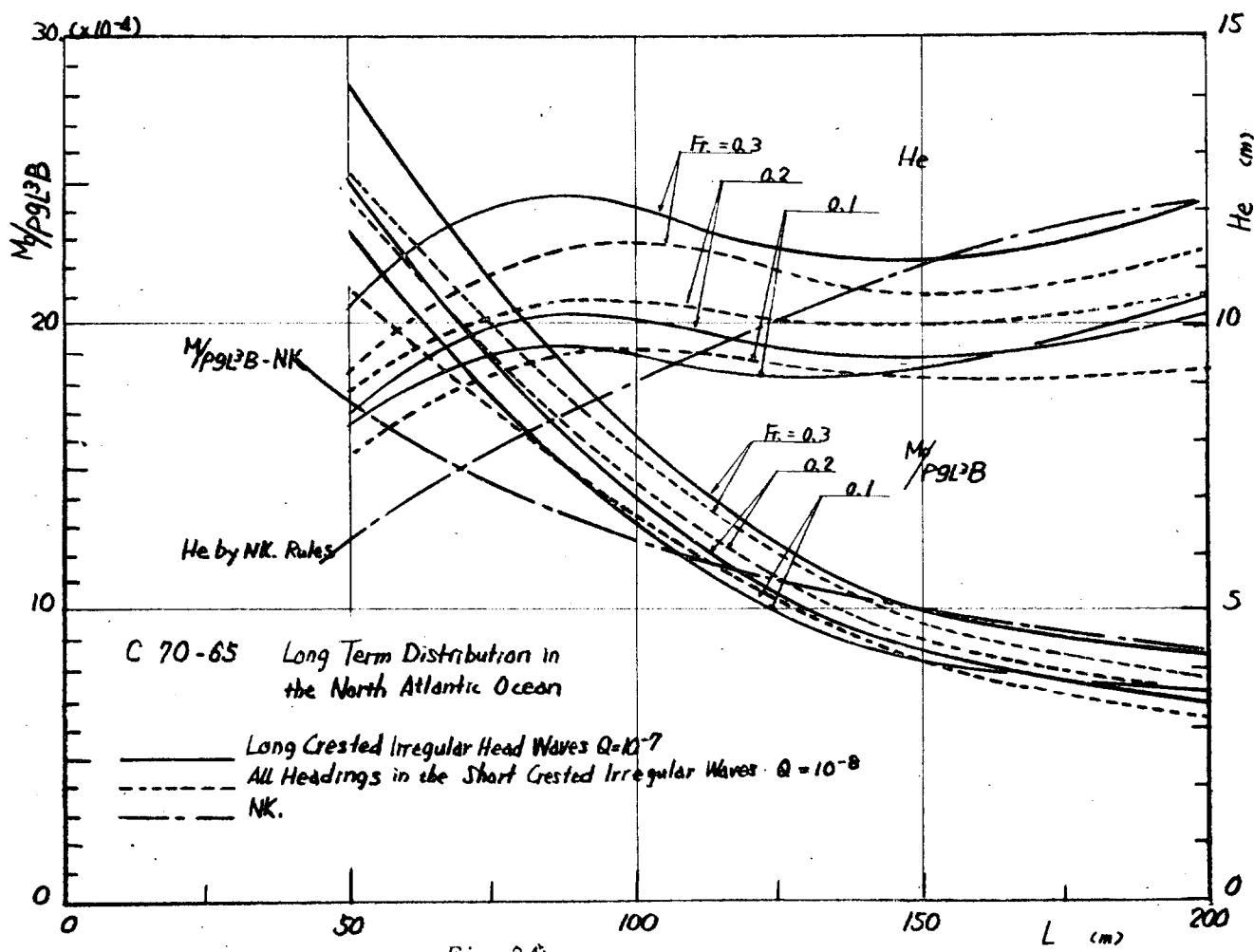


Fig. 24

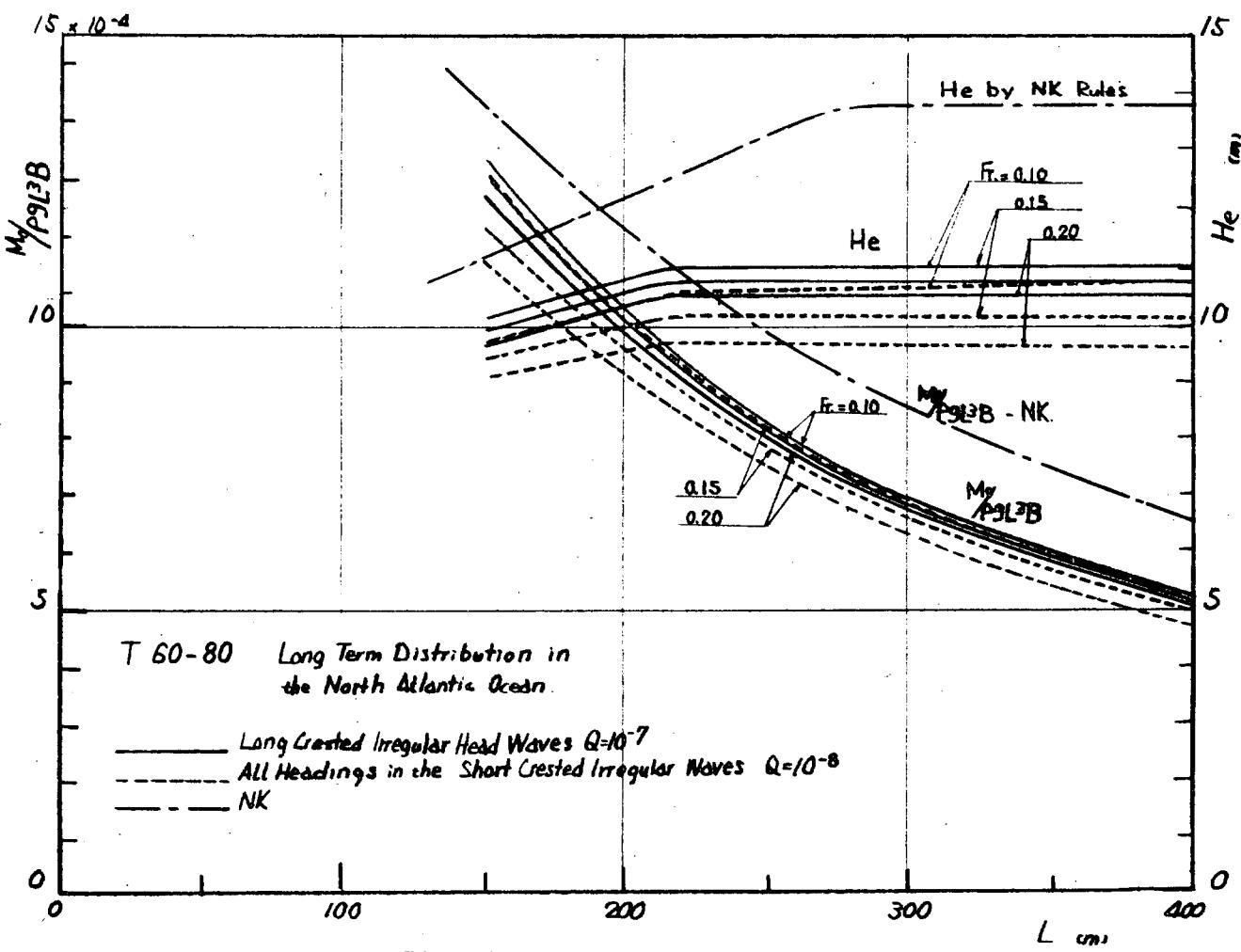


Fig. 26

### 3.4 追波中の波浪曲げモーメント応答関数

Fig. 3に見られるように $\psi = 150^\circ \sim 180^\circ$ の追波中をフルード数0.30の高速で航行するときの波浪曲げモーメントの応答関数は $\omega_e = 0$ に相当する波長の波の場合に極端に大きな値を示す。この原因としては付加質量係数, $C_0K_4$ が $\xi_d \leq 0.01$ の範囲で急に大きくなり、Fig. 27の曲線PQR, XYZで示されるように $\omega_e = 0$ 即ち $\xi_d = 0$ で $C_0K_4$ の値が $\infty$ となつているためである。波浪曲げモーメントを求める理論式にVpsの頂があるためFig. 28の曲線PQR, XYZ( $\psi = 180^\circ$ の場合)曲線P'Q'R', XYZ'( $\psi = 150^\circ$ の場合)に示されるように $\omega_e = 0$ の付近で応答関数は極端に大きな値となる。 $\xi_d \geq 0.01$ の範囲では、 $C_0K_4$ は妥当な値と考えられるので $\xi_d \leq 0.01$ の範囲に対して、 $C_0K_4$ の値として $\xi_d = 0.01$ の時の値を代入して波浪曲げモーメントの応答関数を求めたのがFig. 28の直線QY( $\psi = 180^\circ$ ), QY'( $\psi = 150^\circ$ )である。

しかし $\omega_e = 0$ では船は見掛け上、波の中で静止した状態にあると同じである。 $\omega_e = 0$ では、これに対する波長を持つ波の中で付加質量PS=0, 減衰力N=0のいわゆる静的計算の値をもちいるのがよいかもしれない。Fig. 28にみられるように、 $\xi_d \leq 0.01$ の範囲で動的計算と静的計算の値が異つている。これはストリップ法による船体に働く波浪外力の計算式で前進速度の影響を示す項に問題が残つてゐることを示すものと思われる。このことについては将来さらに検討を進める必要がある。

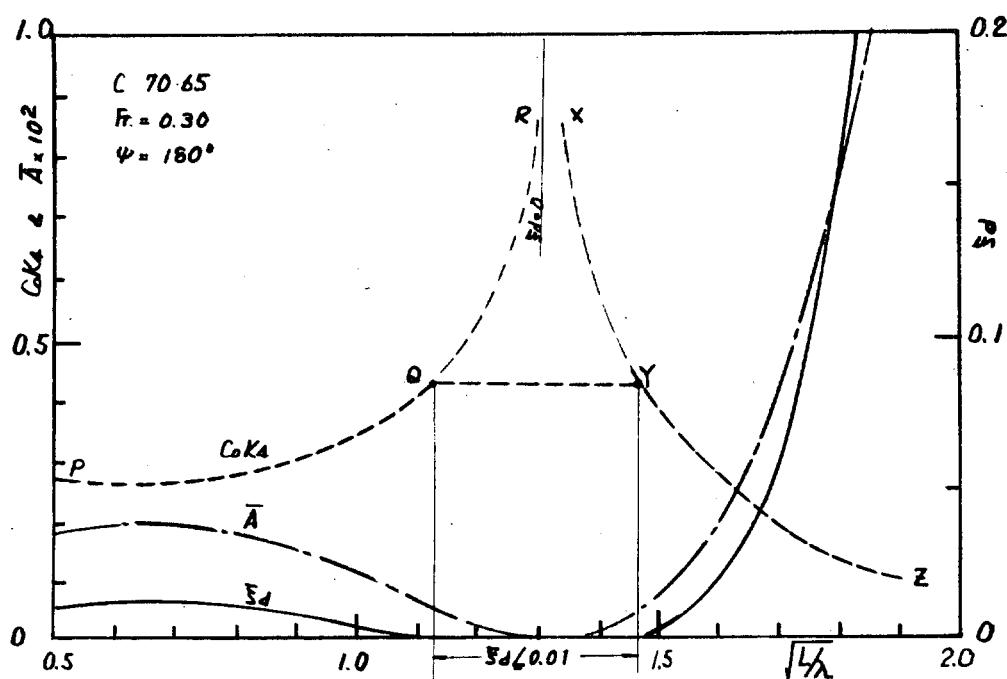


Fig. 27  $C_0 K_4 \cdot \bar{A} \cdot \xi_d$

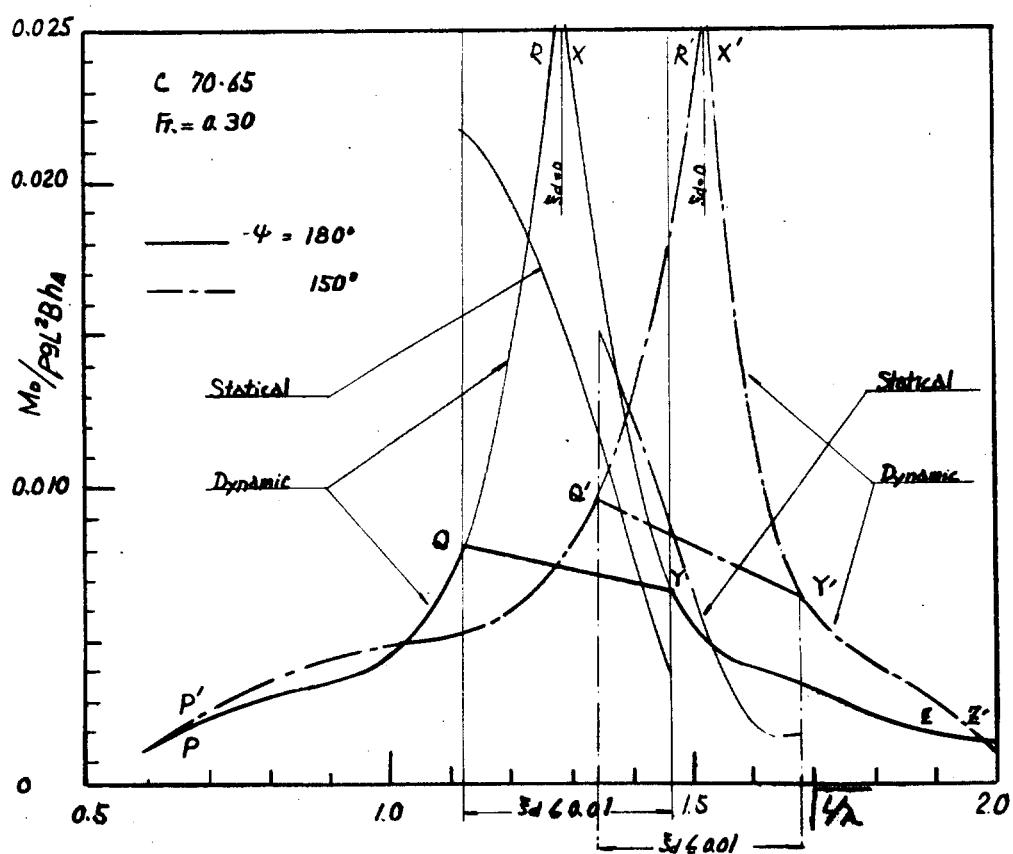


Fig. 28 Response Operators of Wave Bending Moment

## 4. 波浪剪断力, 波浪曲げモーメントの船長方向分布

本章は貨物船, 油送船の基準船型 (C 7065 T 6080)について規則波中での波浪剪断力, 曲げモーメントの船長方向の分布を計算し, さらに油送船の基準船型については船体中央部の他に2種の重要な断面における長波頂正面不規則海面, 短波頂不規則海面での短期分布, 長期分布の関連を求めたものである。

波浪剪断力, 曲げモーメントの船長方向の分布を求めるには船体の重畠分布曲線が必要である。この曲線は42, 43年度に船体中央部の波浪曲げモーメントを求めるのに使用したTable 2の船体前後半部の重量, 重心, 二次モーメントからAppendix 2に示す台形近似法を用いて逆算し, かつ実船の重量分布曲線を考慮してFig. 29, 30に示す重量分布曲線を決定した。この曲線から求めた静水中剪断力, 曲げモーメントをFig. 31, 32に示す。

### 4.1 規則波中の波浪剪断力, 波浪曲げモーメントの応答関数の船長方向分布

船長を10等分 (A.P., F.P. を除く8点) した各stationについて波浪剪断力, 波浪曲げモーメントの応答関数 ( $F_w/\rho g LBhA$ ,  $M_w/\rho g L^2 BhA$ ) をTable 7に示す船速, 波長, 針路の組合せについて求めた。

貨物船の基準船型 C 7065について  $F_w/\rho g LBhA$  の船長方向の分布を  $\lambda/L$  をパラメーターとして Fig. 33 に示し,  $\psi$  をパラメーターとして Fig. 35 に示す。また,  $F_w/\rho g LBhA$  が比較的大きい。No. 3, 7 Station と Midship (No. 5 station) における応答関数を Fig. 34 に示す。また  $M_w/\rho g L^2 BhA$  についても同様に船長方向の分布を  $\lambda/L$ ,  $\psi$  を夫々パラメーターとして Fig. 36, 38 に示し No. 3, 5, 7, station における応答関数を Fig. 37 に示す。油送船の基準船型 T 6080 については同じ表現法で Fig. 39~44 に示す。

以上の計算結果から下記のことがいえる。

貨物船の基準船型 C 7065 については正面迎波中 ( $\psi = 0^\circ$ ) で  $\lambda/L = 1.0$  のとき波浪剪断力の振巾の極大値は No. 3 & 7 ½ station に生じ極小値は No. 5 ½ station に生じる。また波浪曲げモーメントの極大値は No. 5 ½ station に生じる。これら極値を示す位置は  $\lambda/L$  の値とともに変化し,  $\lambda/L > 1.0$  では若干 A.P. 側に移動する。 $\lambda/L < 1.0$  では船長方向の分布は複雑な形状を示す。例えば  $\lambda/L = 0.5$  の規則波中では波浪剪断力の振巾は No. 2, 5, 8 station の3ヶ所で極大値を示し, 波浪曲げモーメントの振巾は No. 4 station で極小値を示す。針路の影響は正面迎波 ( $\psi = 0^\circ$ ) 追波 ( $\psi = 180^\circ$ ) で最大, 横波 ( $\psi = 90^\circ$ ) で最小となるが極大, 極小を示す位置は  $\psi = 0^\circ$ ,  $30^\circ$  の迎波に比べて  $\psi = 150^\circ$ ,  $180^\circ$  の追波では若干 A.P. 側である。応答関数は No. 3 & 7 station ではほぼ同じ形状を示し,  $\lambda/L < 1.2$  の範囲では波浪剪断力の応答関数は No. 5 (○) station の応答関数の約2倍, 波浪曲げモーメントの応答関数は約  $\frac{1}{2}$  である。油槽船の基準船型 T 6080 の場合は静水中的剪断力, 曲げモーメントの分布からも知れるように C 7065 に比べて前後非対称度が強いため波浪剪断力曲げモーメントの船長, 万向分布はより複雑である。正面迎波中で  $\lambda/L = 1.0$  のとき波浪剪断力の極大値は No. 4 & 8 ½ station に生じ, 極小値は No. 6 ½ station 生じる。また波浪曲げモーメントの極大値は No. 6 ½ station に生じる。 $\lambda/L > 1.0$  では極値を示す位置が若干 A.P. 側に移動すること  $\lambda/L < 1.0$  で複雑な形状を示すこと, および針路の影響による極値の発現位置の移動の傾向は C 7065 の場合と定性的に同じである。応答関数については C 7065 の場合と異なり No. 3 & 7 station における相似は認められない。

Table 7

TYPE	C 7065	T 6080
Froude Number $F_r$	0.10	0.15
Wave Length $\sqrt{L/\lambda}$	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0	
Heading Angle to Wave $\psi$ (deg)	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$	

## 4.2 油送船船型 (T 6080) の No.3 & 7 Station における波浪剪断力の短期分布、長期分布

4.1で求めた規則波中の波浪剪断力の応答関数と I.S.S.C 波スペクトルとから線型重畠法を用いて長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面での波浪剪断力の短期分布を Table 8 に示される船長、船速、平均波周期、針路の組合せについて求め、これと Walden の北大西洋の波浪の長期観測資料とから長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面で All Headings のときの長期分布を Table 9 に示される船長、針路、船速の組合せについて求めた。

No.3 station について Fig. 45, 47 に波浪剪断力の標準偏差を平均波周期、船長の関数として示す。Fig. 49 は波浪剪断力の異常値と発現確率との関係を示す。No.7 station については Fig. 46, 48, 50 に示す。Fig. 51 は長波頂正面不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-7}$ 、短波頂不規則海面の All Headings で発現確率が  $\theta = 10^{-8}$  である最大値を No.3 & 7 station につき船長の関数として示したものである。

以上の計算結果から下記のことが云える。

船長が  $L = 250\text{ m}$  の船については長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面共に No.3 station で波浪剪断力の短期間の標準偏差が最大となるのは平均波周期  $T \approx 11\text{ sec}$  の海面であり、No.7 station では  $T \approx 1.05\text{ sec}$  の海面である。No.3 station について短波頂不規則海面では標準偏差は針路  $\theta = 0^\circ, 180^\circ, 150^\circ, 30^\circ$  の順に小さくなり  $\theta = 90^\circ$  で最小となる。この値はいずれも長波頂正面不規則海面は標準偏差より小さい値である。No.7 station では短波頂不規則海面で標準偏差は  $\theta = 180^\circ$  が最大で  $150^\circ, 0^\circ, 30^\circ$  の順に小さくなる。 $\theta = 180^\circ, 150^\circ$  における標準偏差は長波頂正面不規則海面での値より大きな値である。短波頂不規則海面で発現確率  $\theta = 10^{-8}$  の最大値と長波頂正面不規則海面で発現確率  $\theta = 10^{-7}$  である最大値の比 Table 10 に示す。No.3 station では約 0.93、No.7 station で約 1.06 であり、両者はほぼ 1 に近い。従つて No.3, 7 station の波浪剪断力の場合にも短波頂不規則海面で All Headings のとき発現確率が  $\theta = 10^{-8}$  に相当する最大値の代りに長波頂正面不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-7}$  に相当する最大値をもちいてよいと考えられる。

Table 8

TYPE	T 6080	
Froude Number	Fr	0.15
Ship Length	$L(\text{m})$	200, 300, 400
Mean Wave Period	$T(\text{sec})$	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
Ship Course Angle	$\theta(\text{deg})$	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$

Table 9

TYPE	T 6080	
Froude Number	Fr	0.15
Ship Length	$L(\text{m})$	200, 300, 400
Ship Course Angle	$\theta(\text{deg})$	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, \text{Mean}^{***}$

\*\*\* 短波頂不規則海面での平均値

Table 10

$Fr = 0.15$	$\delta_F$			$\delta_M$		
NO. of Station	3	5	7	3	5	7
$L = 200\text{ m}$	0.925		1.06	0.957	0.940	0.909
$300\text{ m}$	0.934		1.05	0.987	0.955	0.900
$400\text{ m}$	0.937		1.07	0.986	0.961	0.925

注  $\delta_F = \frac{F/\rho g L^2 B(Q=10^{-8}) \text{ All Headings in the Short Crested Irregular Seas}}{F/\rho g L^2 B(Q=10^{-7}) \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}$

$\delta_M = \frac{M/\rho g L^2 B(Q=10^{-8}) \text{ All Headings in the Short Crested Irregular Seas}}{M/\rho g L^2 B(Q=10^{-7}) \text{ in the Long Crested Irregular Head Seas}}$

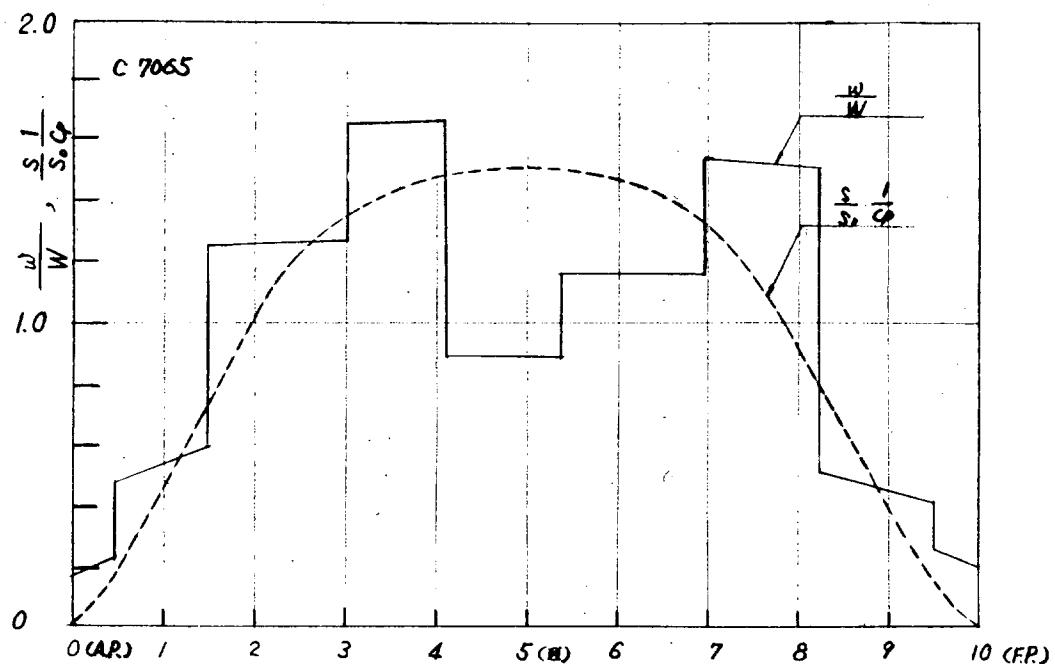


Fig. 29 Weight Distribution of Cargo Ship

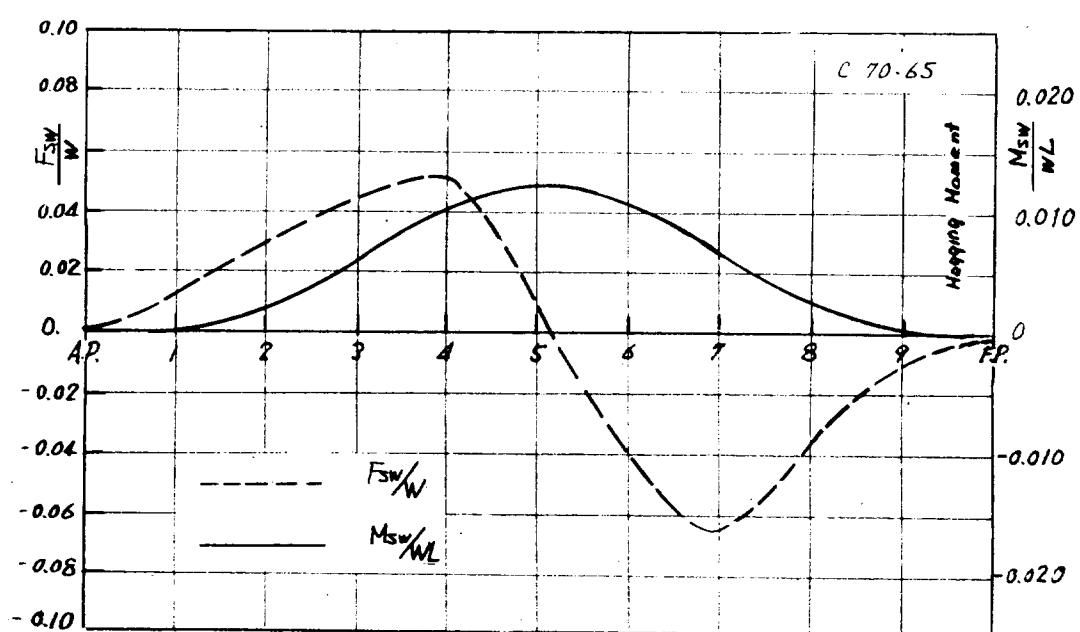


Fig. 31 Still Water Shearing Force and Bending Moment

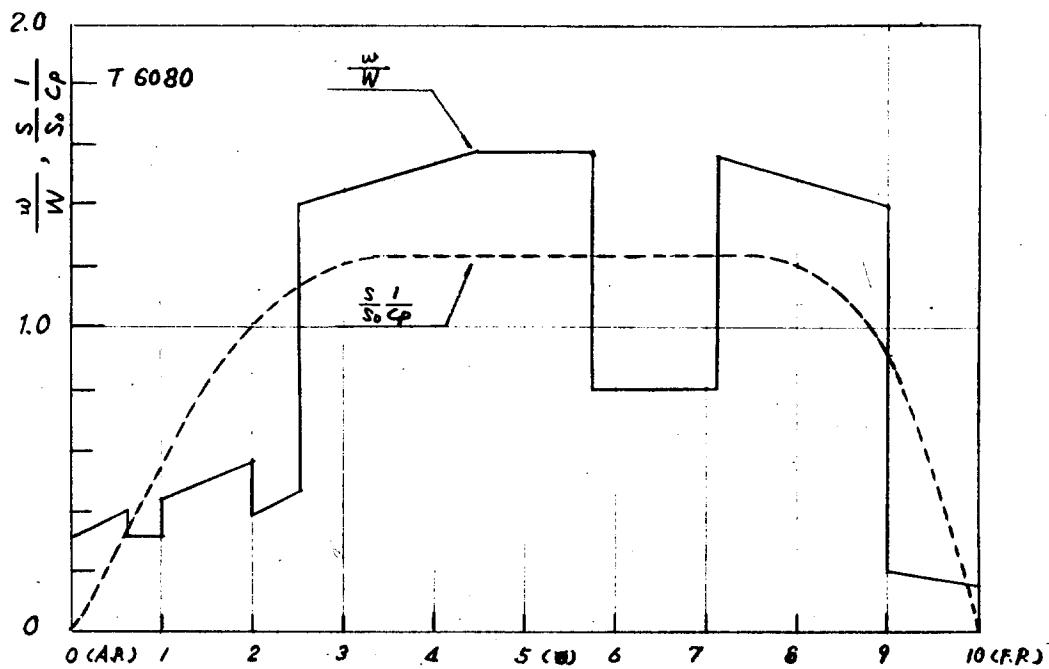


Fig. 30 Weight Distribution of Tanker

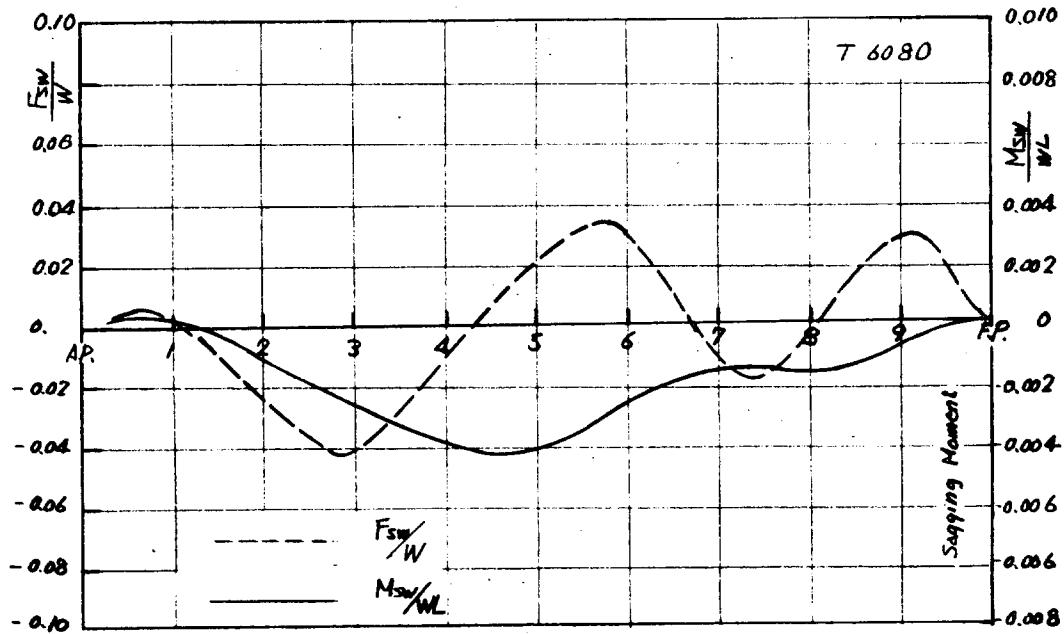


Fig. 32 Still Water Shearing Force and Bending Moment

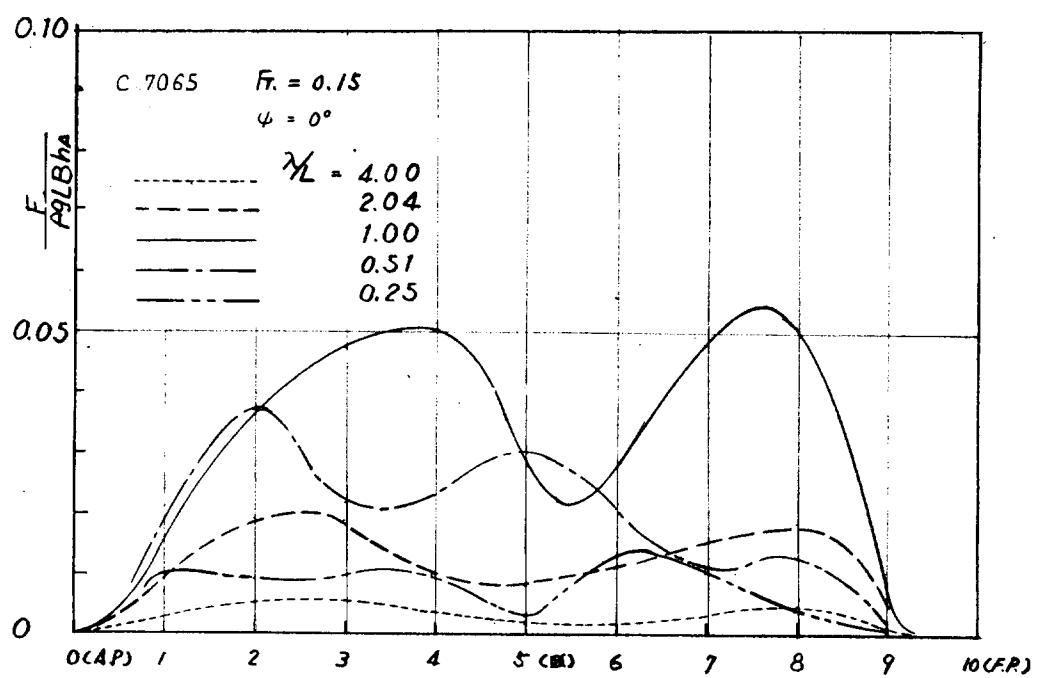


Fig. 33 Wave Sheaving Force Distribution

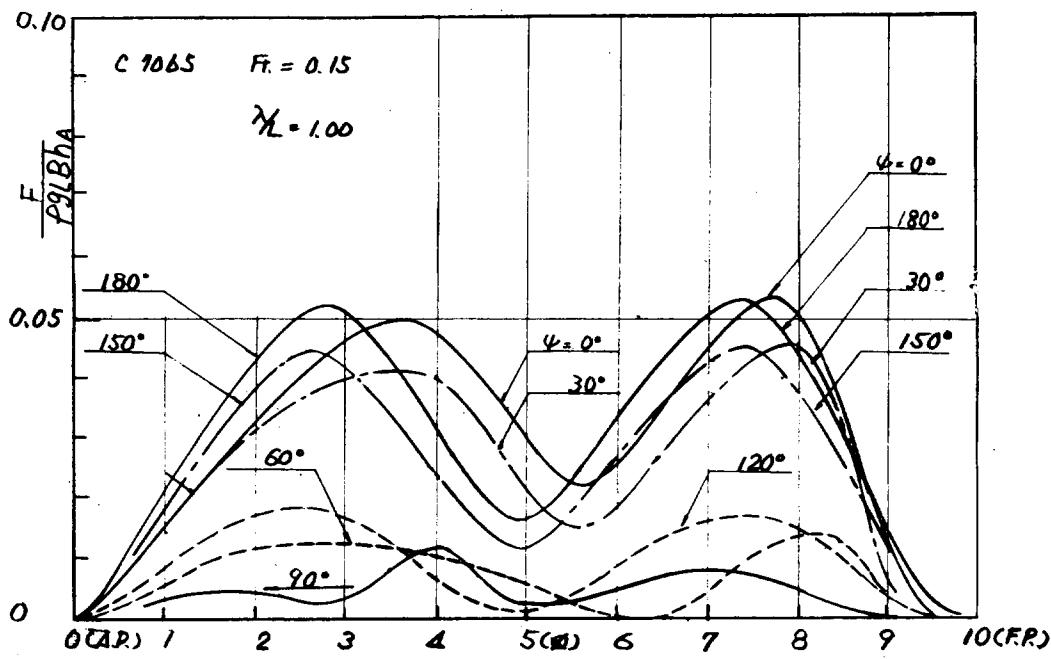


Fig. 35 Wave Shearing Force Distribution

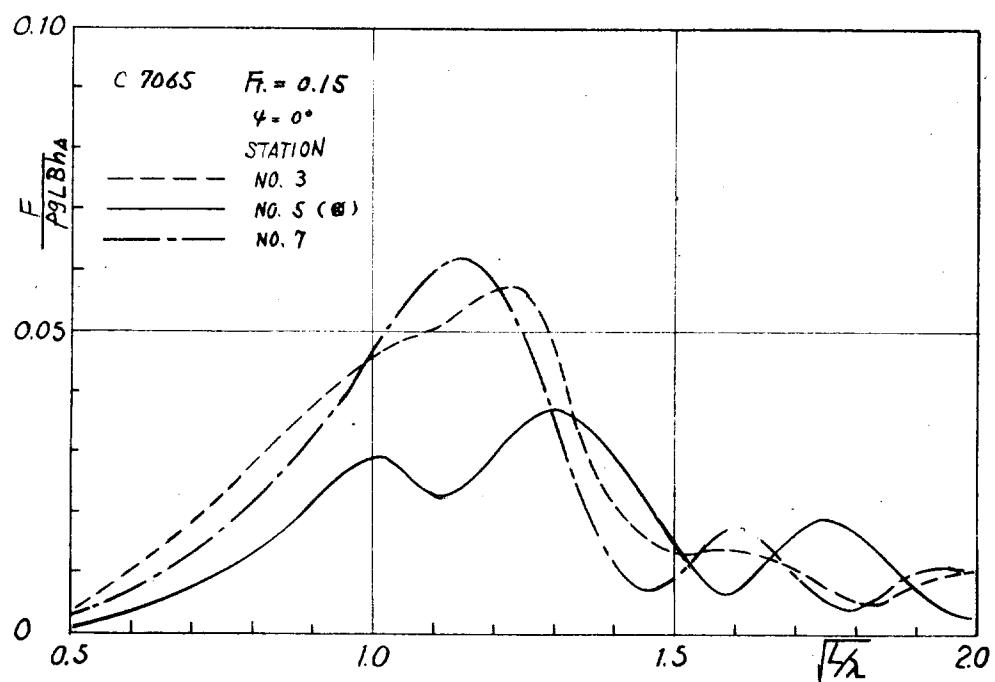


Fig. 34 Response Operators of Wave Shearing Force

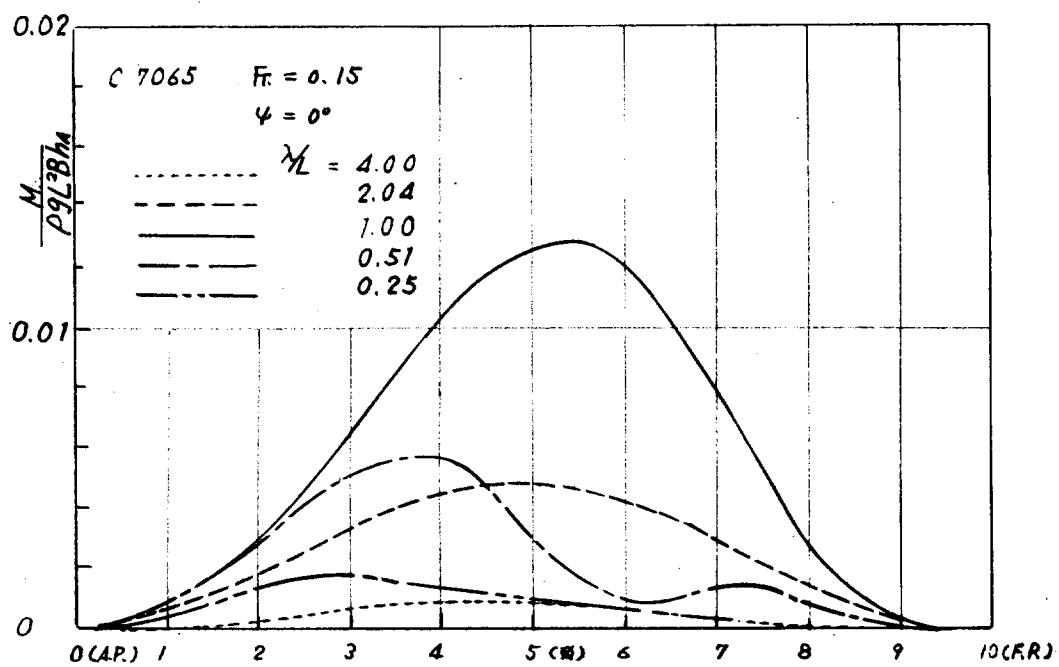


Fig. 36 Wave Bending Moment Distribution

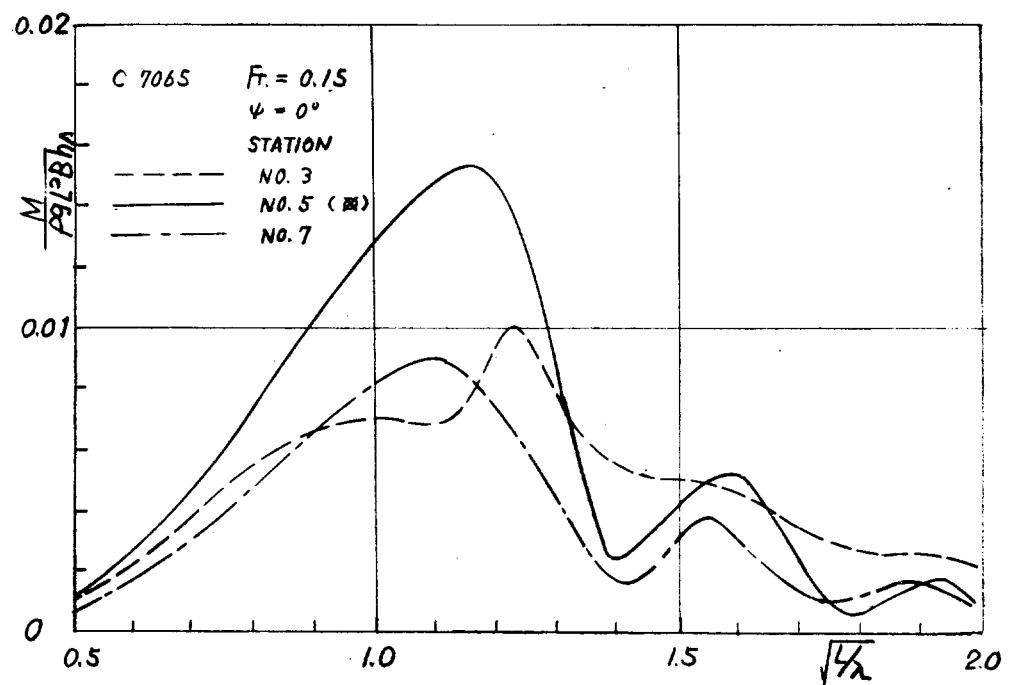


Fig. 37 Response Operators of Wave Bending Moment

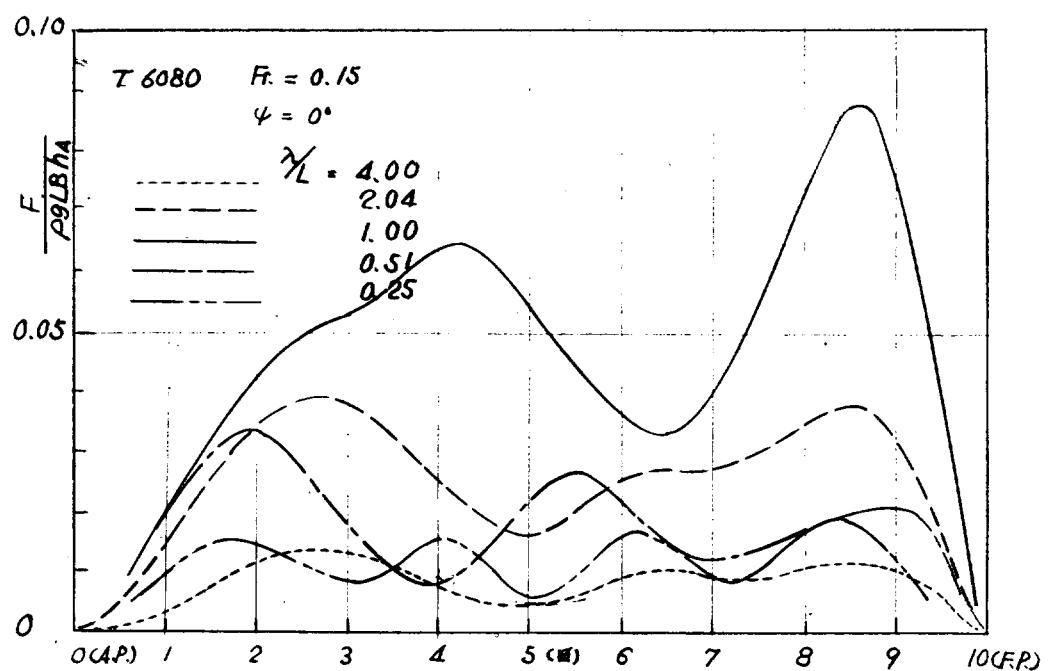


Fig. 39 Wave Shearing Force Distribution

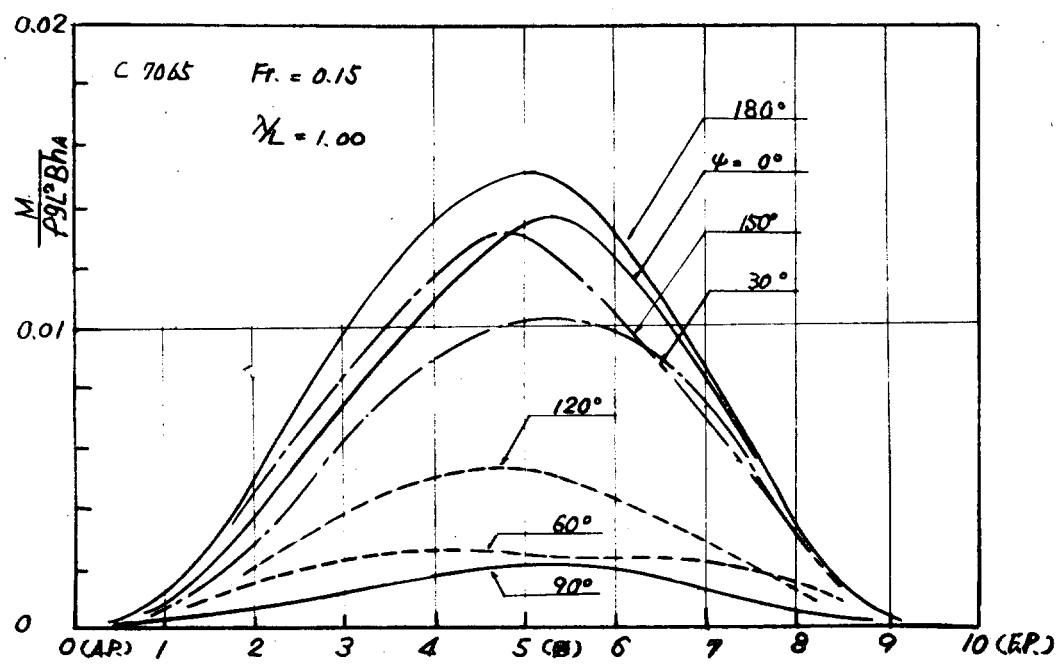


Fig. 38 Wave Bending Moment Distribution

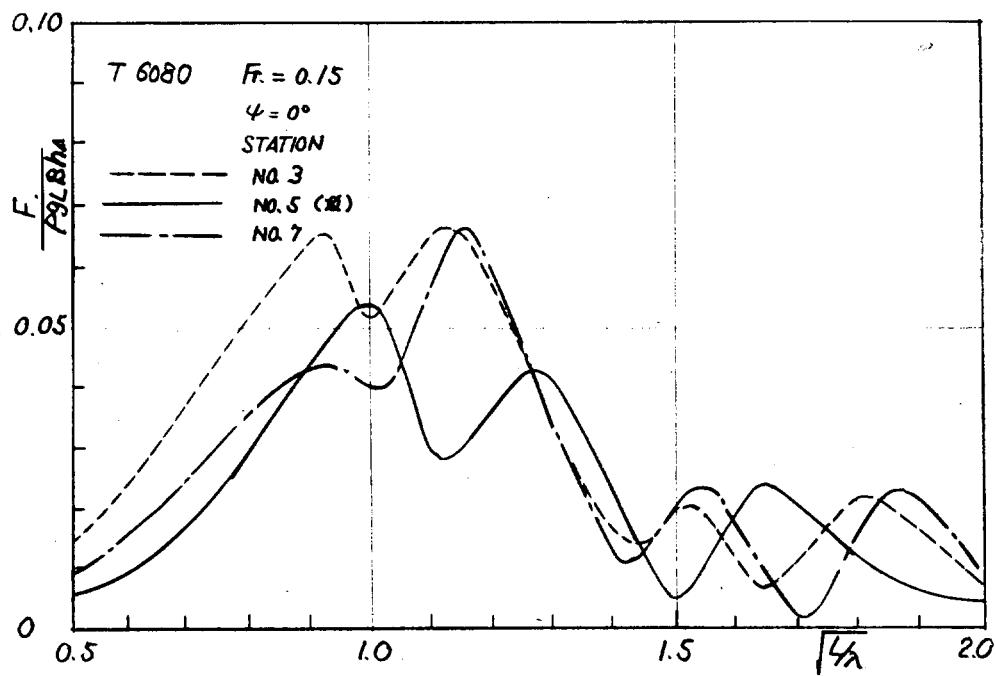


Fig. 40 Response Operators of Wave Shearing Force

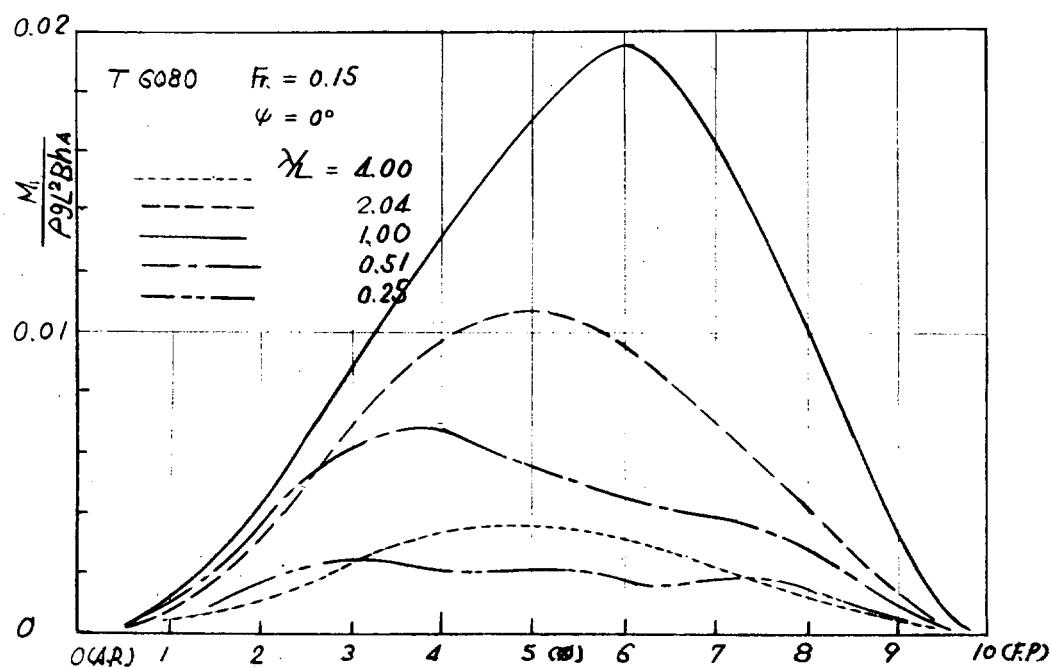


Fig. 42 Wave Bending Moment Distribution

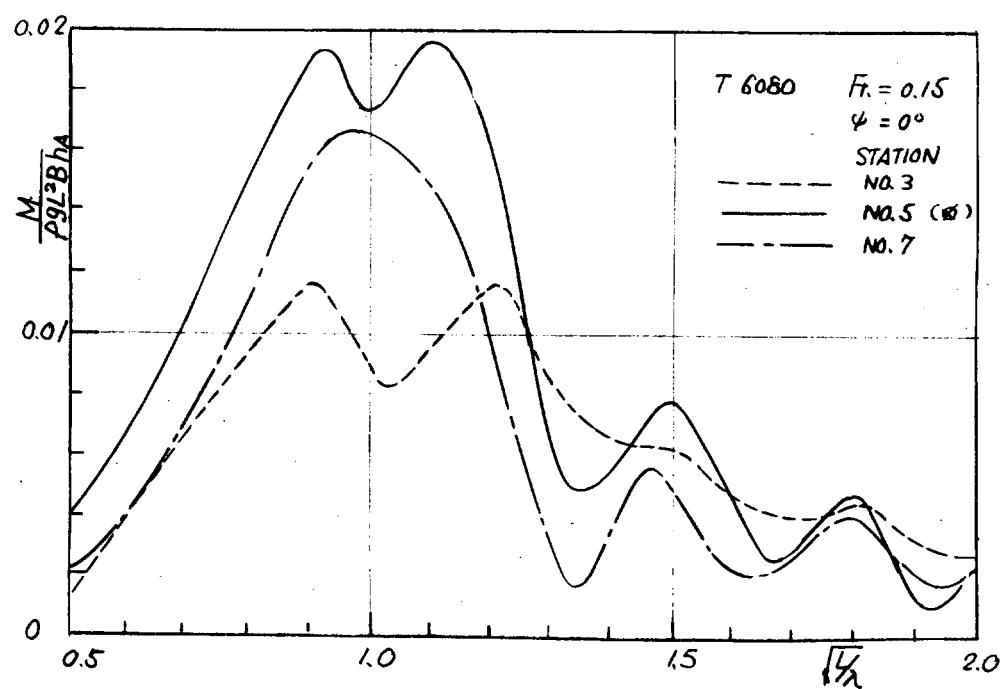


Fig. 43 Response Operators of Wave Bending Moment

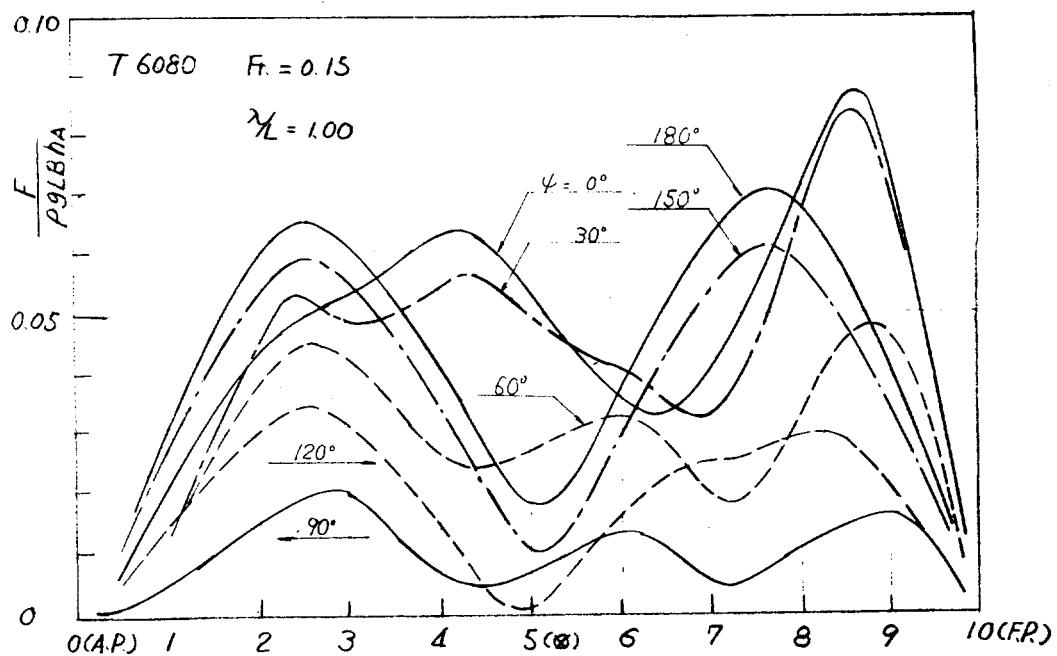


Fig. 41 Wave Shearing Force Distribution

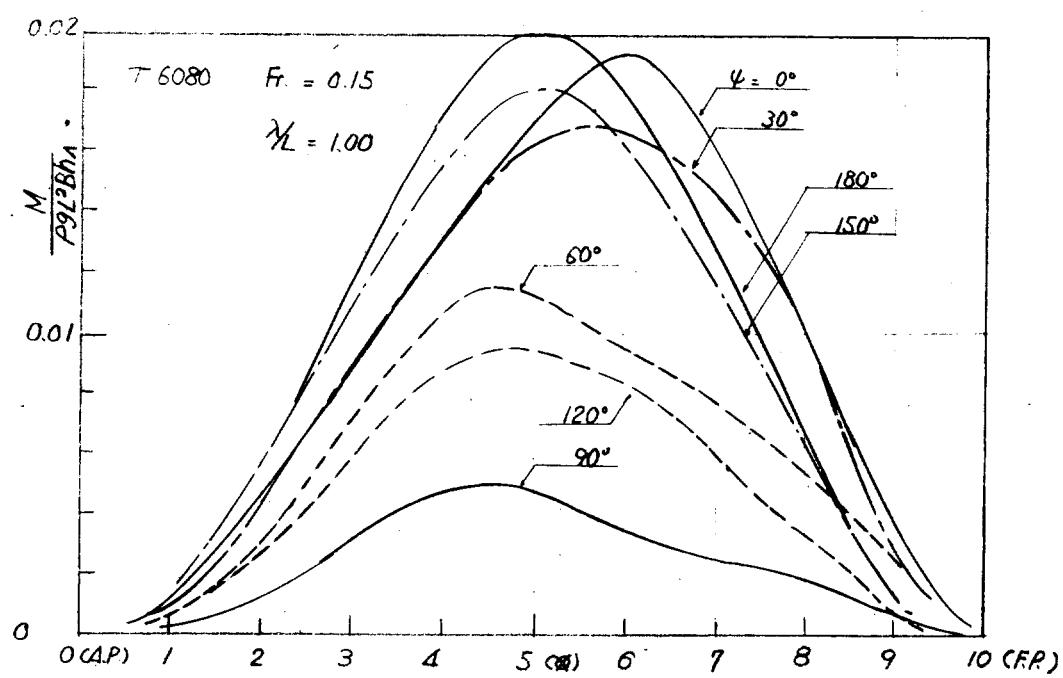


Fig. 44 Wave Bending Moment Distribution

### 4.3 波浪剪断力とNK Rules

$L/\lambda = 1.00$  の時の静的計算値は次式で与えられる。<sup>\*</sup>

$$C_f = \frac{F_w}{\rho g L B h A} = 0.08 (C_b + 0.8) \sin \frac{x/L - 0.02}{0.48} \pi \quad (\text{サギング波})$$

$$= 0.16 \sin \frac{x/L - 0.08}{0.42} \pi \quad (\text{ホギング波})$$

$$= 0.0878 \frac{C_b + 0.7}{\rho g} \quad \text{最大値 (NK内規)}$$

$x/L = 0.2$  (M.3 station) では

	サギング波	ホギング波	最大値
$C_f$	0.111	0.125 <sup>3</sup>	0.129

$T 6080$  の  $F_w = 0.10 \sim 0.15$  の波浪剪断力の応答関数の値は  $\frac{F_w}{\rho g L B h A} = 0.04 \sim 0.06$  でありいずれも NK 内規の最大値の約%である。

\* 関西造船協会編、造船設計便覧改訂版による。

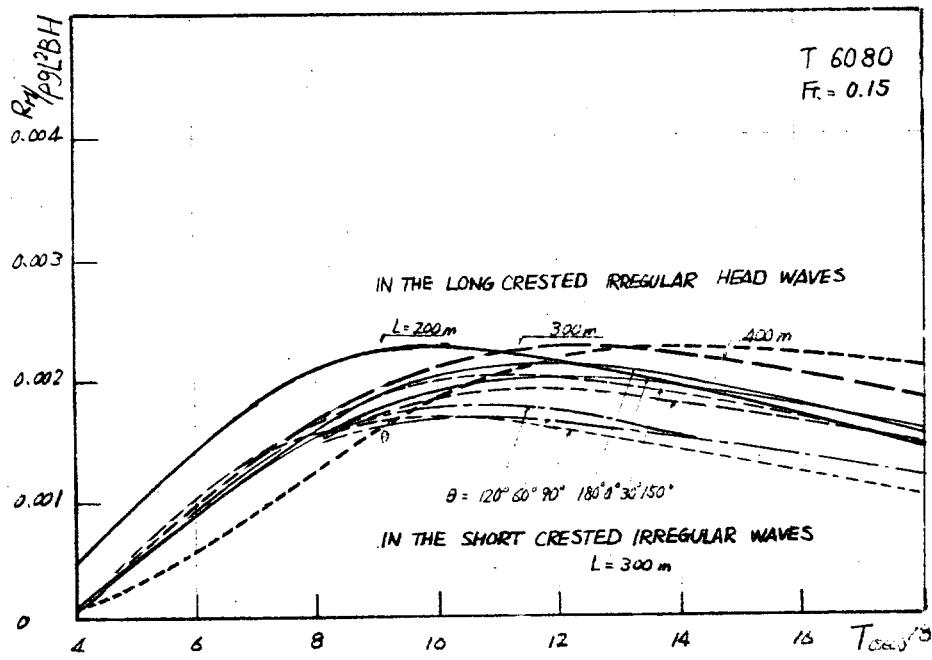


Fig. 52 Short Term Distribution of Wave Bending Moment at №3 Station

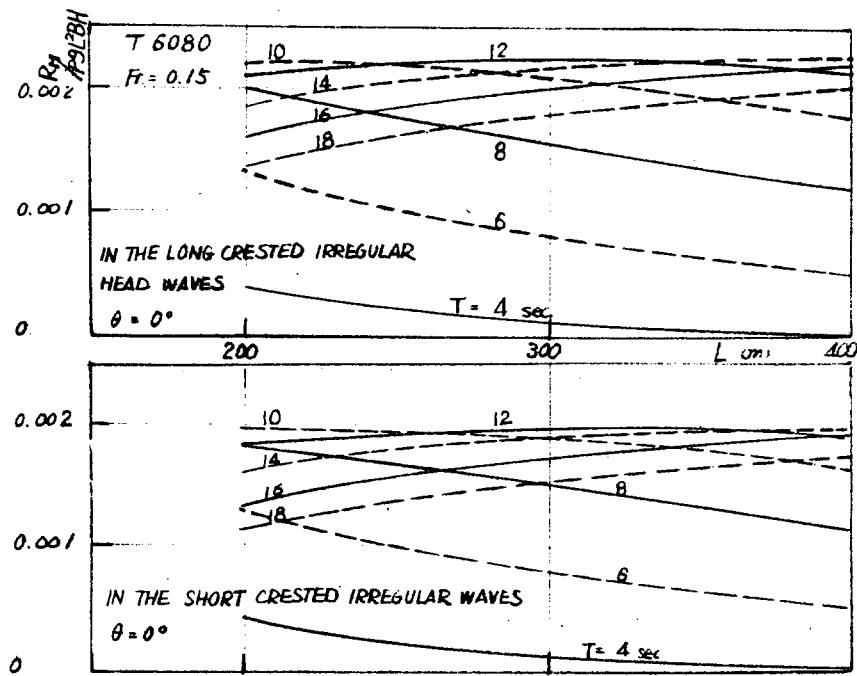


Fig. 54 Short Term Distribution of Wave Bending Moment at №3 Station

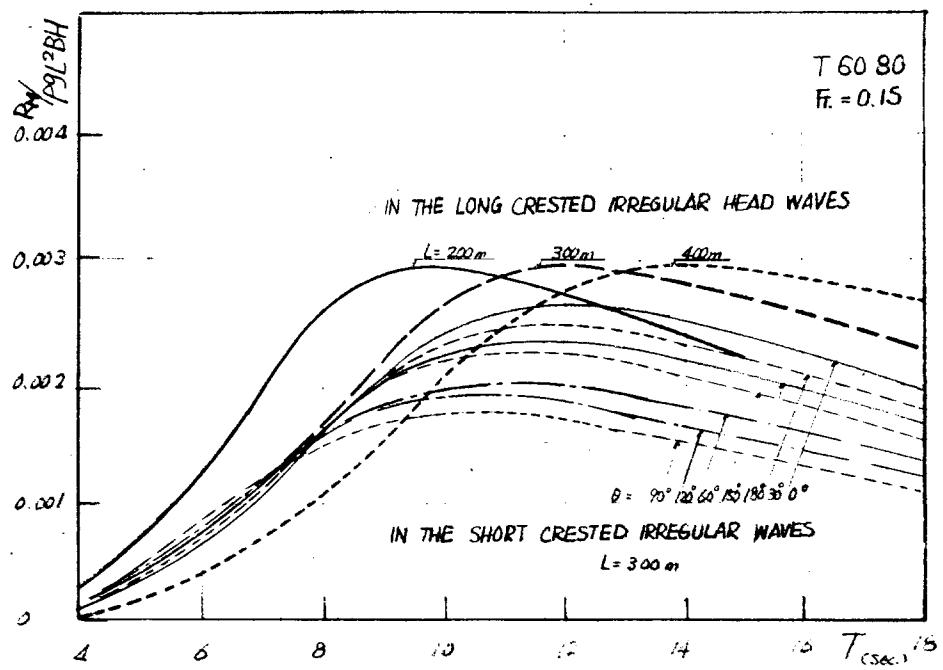


Fig. 53 Short Term Distribution of Wave Bending Moment at N.7 Station

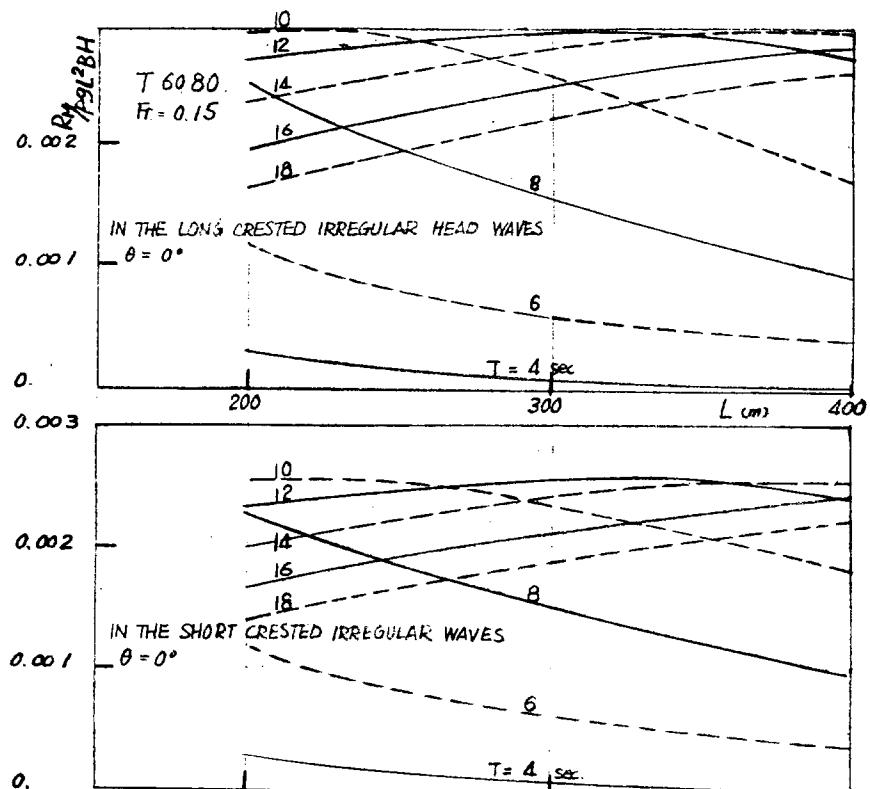


Fig. 55 Short Term Distribution of Wave Bending Moment at N.7 Station

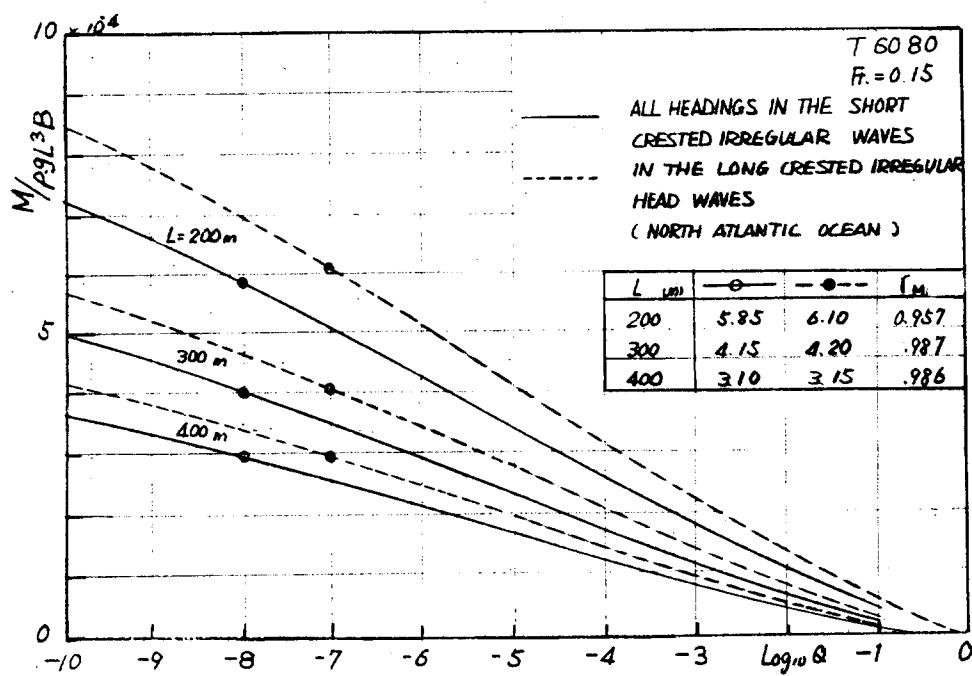


Fig. 56 Long Term Distribution of Wave Bending Moment at No.3 Station

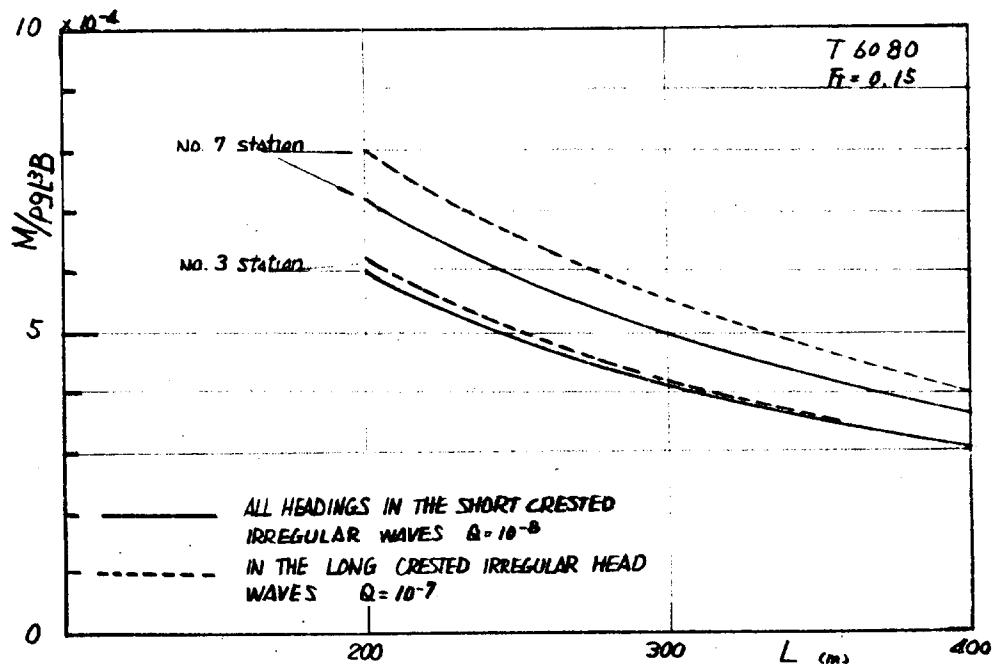


Fig. 58 Long Term Distribution of Wave Bending Moment

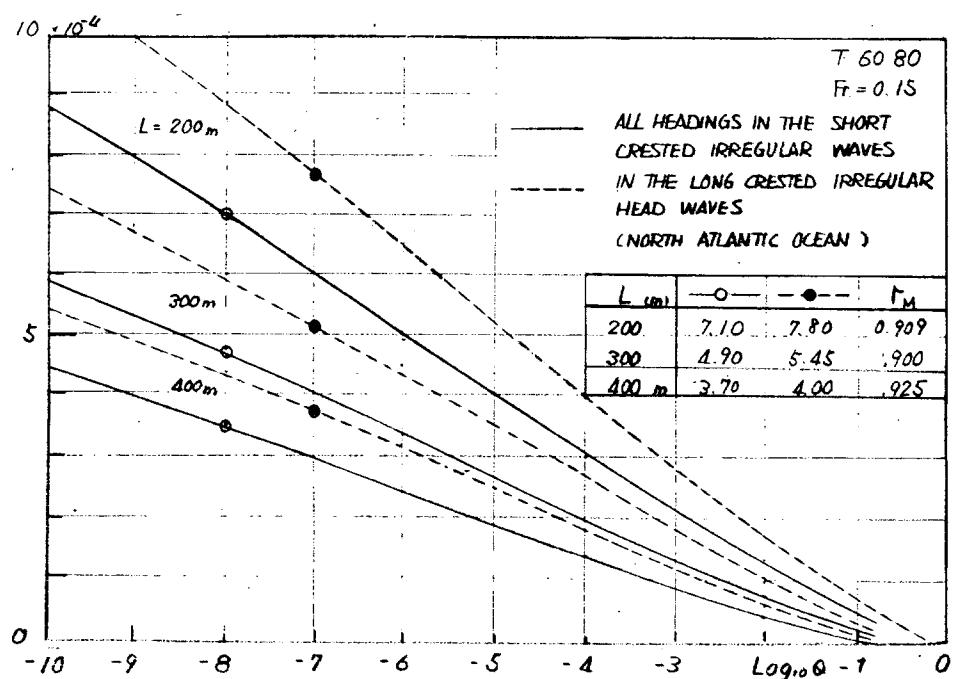


Fig. 57 Long Term Distribution of Wave Bending Moment at N6.7 Station

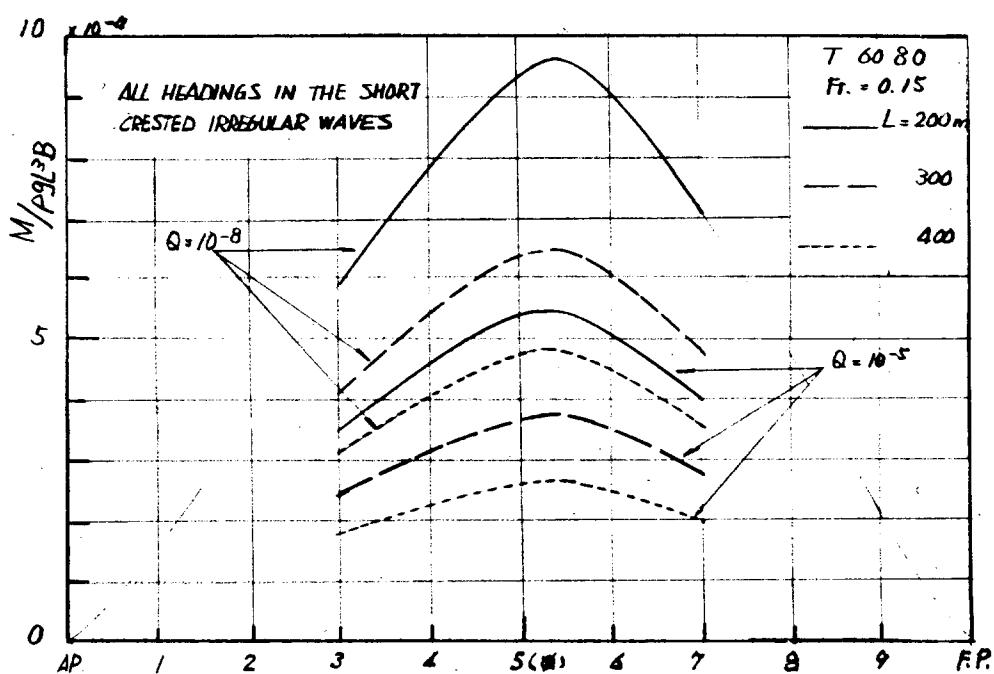


Fig. 59 Long Term Distribution Wave Bending Moment

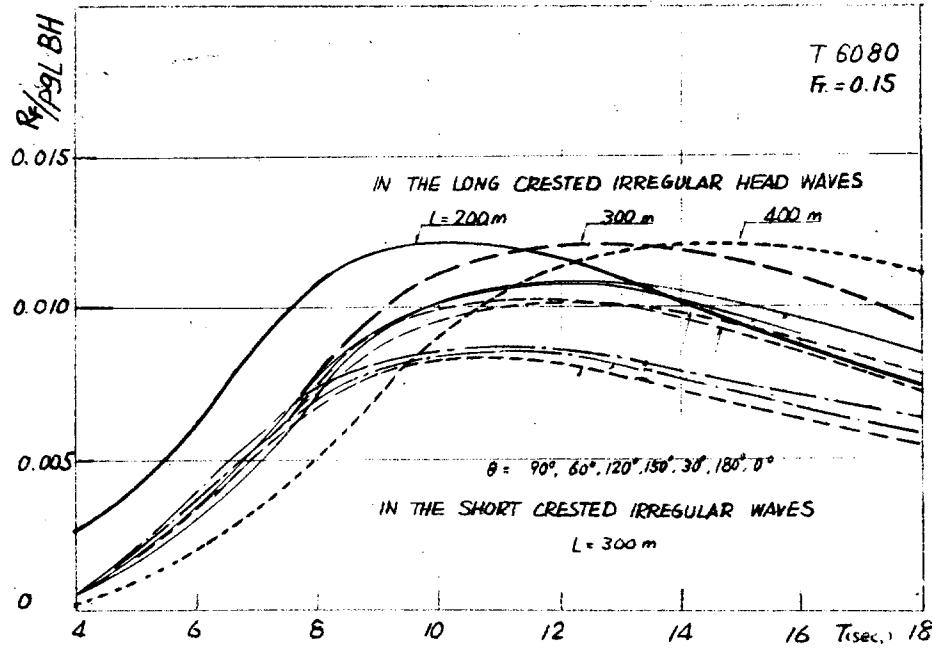


Fig. 45 Short Term Distribution of Wave Shearing Force at N63 Station

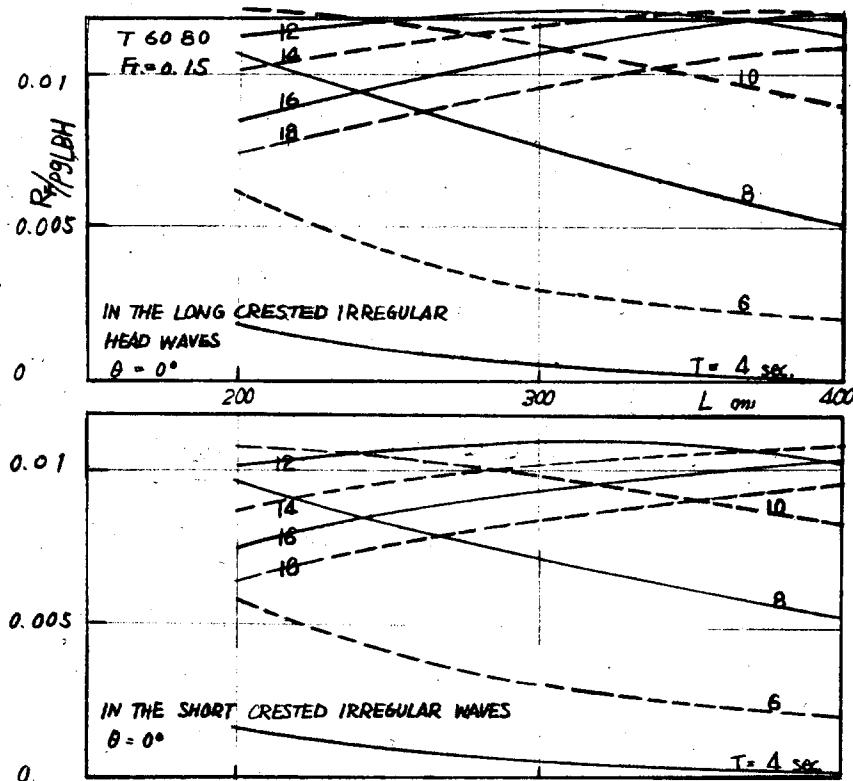


Fig. 47 Short Term Distribution of Wave Shearing Force at N63 Station

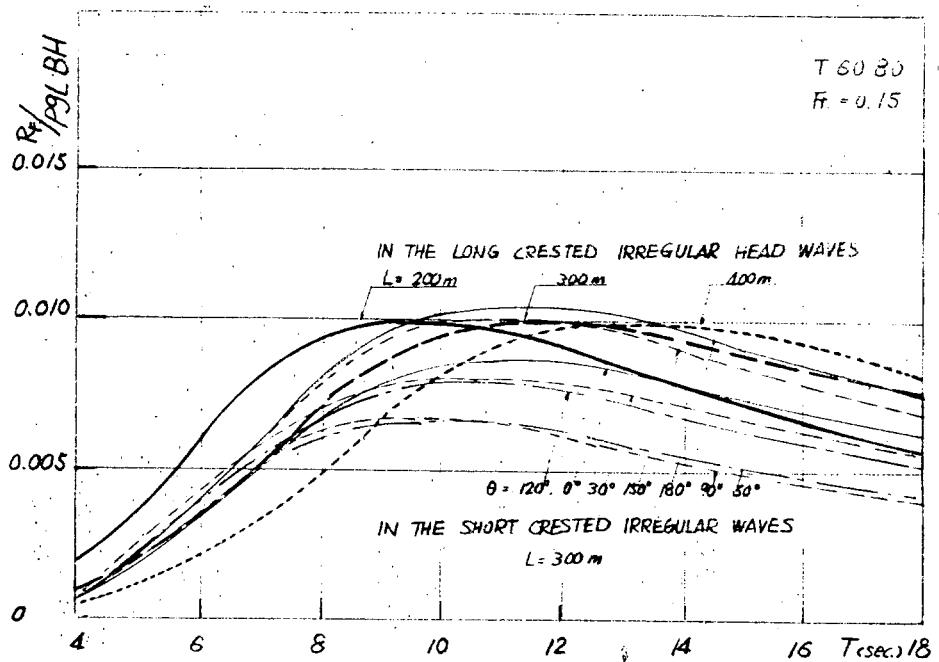


Fig. 46 Short Term Distribution of Wave Shearing Force at No.7 Station

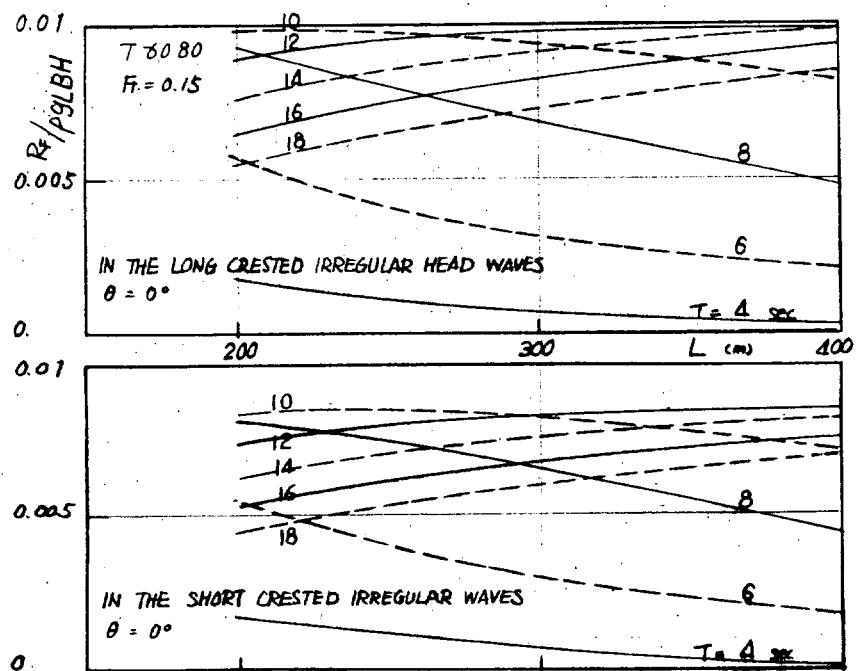


Fig. 48 Short Term Distribution of Wave Shearing Force at No.7 Station

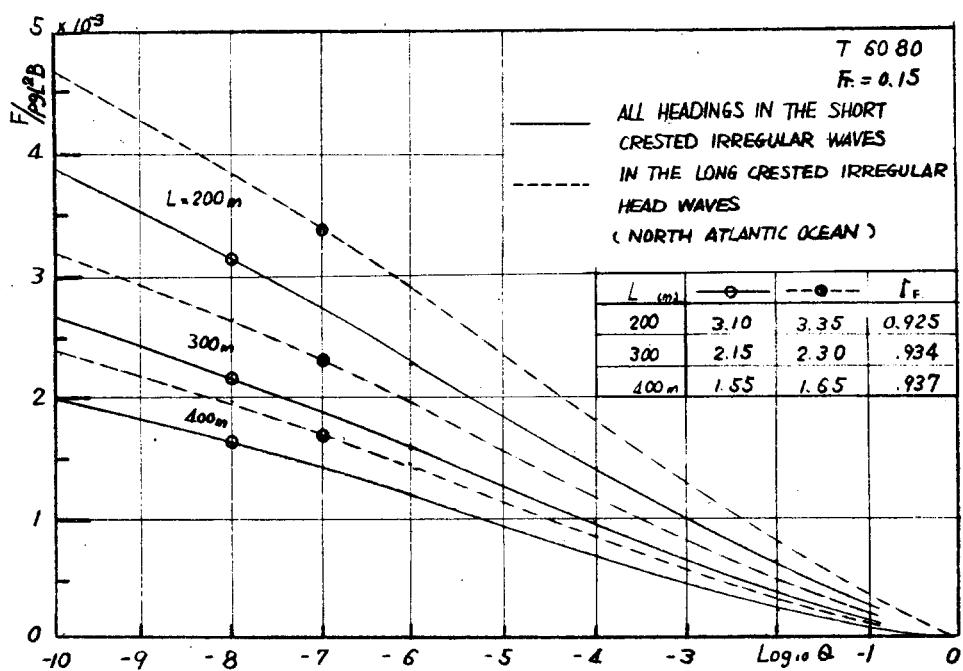


Fig. 49 Long Term Distribution of Wave Shearing Force at No. 3 Station

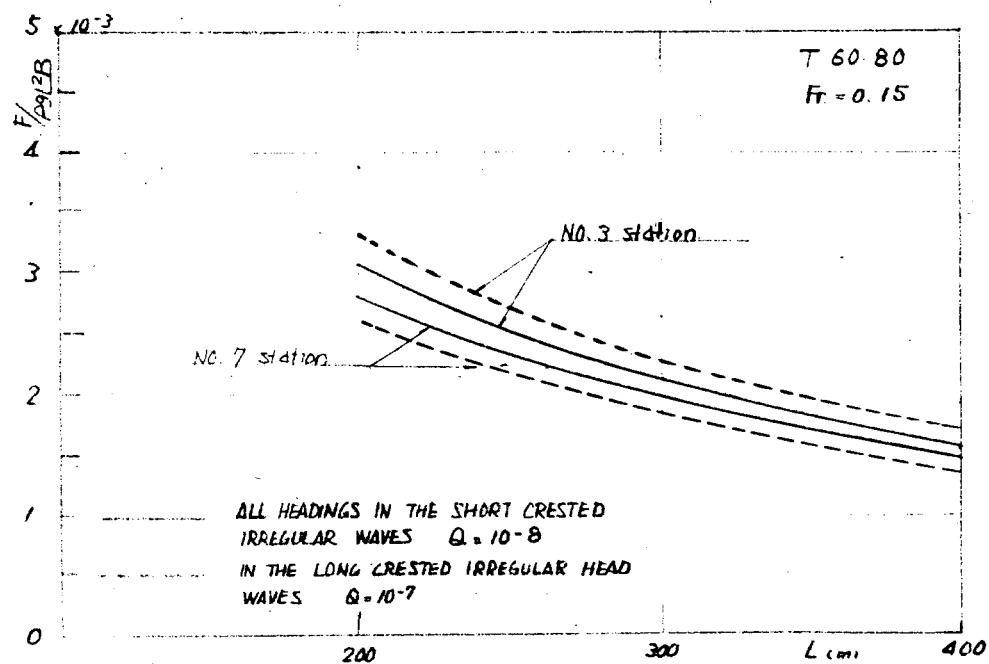


Fig. 51 Long Term Distribution of Wave Shearing Force

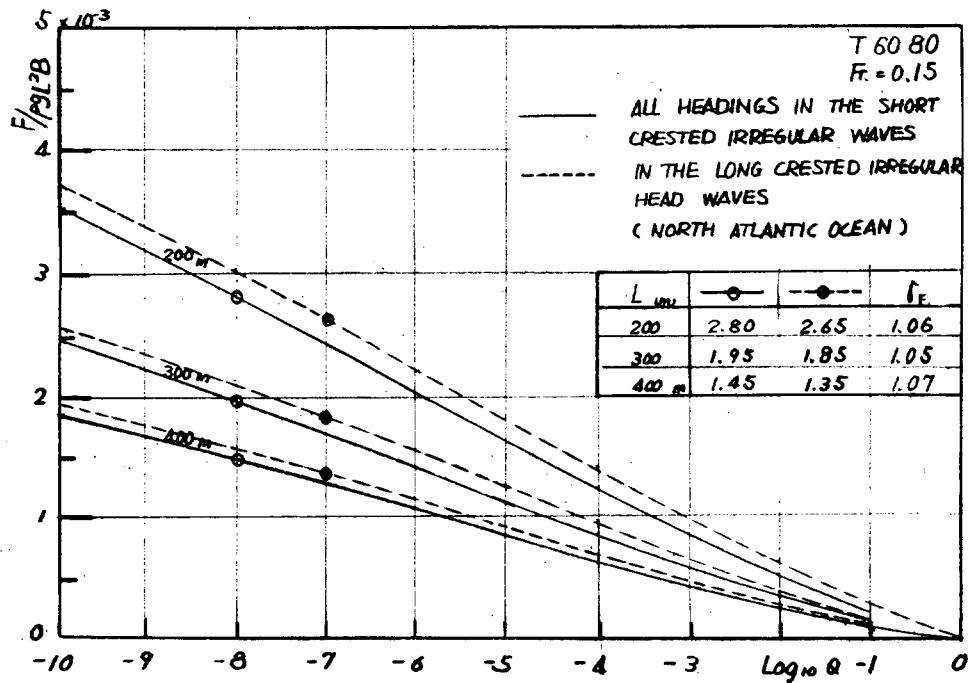


Fig. 50 Long Term Distribution of Wave Shearing Force at 16.7 Station

#### 4.4 油送船船型 (T 6080) の No. 3 & 7 Station における波浪曲げモーメントの 短期分布、長期分布

4.1 で求めた規則波中の波浪曲げモーメントの応答関数と I.S.S.C 波スペクトルとから線型重畠法を用いて長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面での波浪曲げモーメントの短期分布を Table 9 に示される船長、船速、平均波周期、針路の組合せについて求め、これと Walden の北大西洋における波浪の長期観測資料とから長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面での All Heading 時の長期分布を Table 10 に示される船長、針路、船速の組合せについて求めた。

No.3 station について Fig. 52, 54 に波浪曲げモーメントの短期間の標準偏差を平均波周期、船長の関数として示し Fig. 56 に波浪曲げモーメントの異常値と発現確率との関係を示す。No.7 station については Fig. 53, 55, 57 に示す。Fig. 58 は長波頂正面不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-7}$ 、短波頂不規則海面で All Headings のとき発現確率が  $\theta = 10^{-8}$  である最大値を No.3 & 7 station について船長の関数として示したものである。Fig. 59 は短波頂不規則海面で All Heading のとき発現確率が  $\theta = 10^{-8}, 10^{-5}$  である波浪曲げモーメントの最大値の船長方向の分布を求めたものである。

以上の計算結果から下記のことが云える。

船長が  $L = 250\text{ m}$  の船について長波頂正面不規則海面、短波頂不規則海面、共に No.3 station で波浪曲げモーメントの短期間の標準偏差が最大となるのは平均波周期  $T \approx 11\text{ sec}$  の海面であり No.7 station では  $T \approx 10.5\text{ sec}$  の海面である。No.3 station について短波頂不規則海面で標準偏差は針路  $\theta = 180^\circ$  が最大で  $0^\circ, 30^\circ, 150^\circ$  の順に小さくなり  $\theta = 90^\circ$  で最小となる。 $\theta = 180^\circ, 0^\circ$  における標準偏差は長波頂正面不規則海面での標準偏差より若干小さい。No.7 station では短波頂不規則海面で標準偏差は  $\theta = 0^\circ$  が最大  $30^\circ, 180^\circ, 150^\circ$  の順に小さくなる。 $\theta = 0^\circ, 30^\circ$  における標準偏差は長波頂正面不規則海面での値よりかなり小さい。短波頂不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-8}$  である最大値と長波頂正面不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-7}$  である最大値の比を Table 10 に示す。No.3 station で約 0.96, No.7 station で約 0.91 であり両者はほど近くある。従つて船体中央における波浪曲げモーメントと同様に No.3 station & 7 station についても短波頂不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-8}$  である最大値の代りに長波頂正面不規則海面で発現確率が  $\theta = 10^{-7}$  である最大値をもちいてよいと考えられる。Fig. 59 は短波頂不規則海面における  $\theta = 10^{-8}, 10^{-5}$  の異常値の船体長手方向分布を示したものである。この図からも波浪曲げモーメントの異常値の極大を船体中央附近に生ずることが確認される。なお剪断力については計算点数が少ないので、このような異常値の船体長手方向の分布図は作成していない。

## 5. 正面規則波中で運動する船の船体表面に働く変動圧力

船体表面に働く変動圧力については、42年度に、貨物船船型3隻、油送船船型1隻につき、船速、波長を種々に変えて、応答関数を計算したが、本年度は、それらの応答関数を用いて、貨物船、油送船の基準船型につき、船体中央断面に働く変動圧力の短期分布と長期分布を計算し、船体横強度および局部強度を検討するための一資料を得た。なお、変動圧力のガース沿いの分布形の、時間経過による変化についても考察した。

## 5.1 変動圧力の応答関数

昨42年度において、船長と波長の比の平方根  $\sqrt{L/\lambda} = 0.7 \sim 1.5$  の範囲の応答関数を計算したが、短期分布、長期分布を計算するためには、 $\sqrt{L/\lambda}$  のさらに広い範囲の値も必要であるので、Table 12に示すような状態について、電子計算機を用いて、応答関数を計算し、さらに手計算により  $\sqrt{L/\lambda} = 2.4$  までの計算を行なつた。

Table 11

Type	Ship	Section	$F_n$	$\sqrt{L/\lambda}$
Cargo Ship	Standard $L/B = 7, C_B = 0.65$	Ø	0.1, 0.2, 0.3	0.5, 1.6 1.8, 2.0
Tanker	Standard $L/B = 6, C_B = 0.80$	Ø	0.1, 0.15, 0.2	0.5, 1.6 1.8, 2.0

$\sqrt{L/\lambda}$  が 0.5 より小さい場合は、Side, Bilge, Bottom とも、 $\sqrt{L/\lambda}$  が 0 に近づけば応答関数が 0 に近づくことを考慮して延長し、 $\sqrt{L/\lambda}$  が 2.4 より大きい場合は、 $\sqrt{L/\lambda}$  が大きくなれば、応答関数が Side で  $pgh_A$  に近づき、Bilge, Bottom で 0 に近づくことを考慮して延長した。

変動圧力の波振巾に対する無次元値  $J = |P_H| / \rho g h_A$  を  $\sqrt{I/\lambda} = 0.5 \sim 2.5$  について図示したのが Fig. 60, Fig. 61 である。

$\sqrt{L/\lambda}$  が 1.5 以上では、船体運動がほとんどないので、変動圧力は、ほとんどのものだけとなる。したがって、 $F_n$  の変化は、変動圧力の応答関数にほとんど影響をおよぼさない。貨物船型と油送船型で  $\sqrt{L/\lambda}$  の大きい所の変動圧力が多少異なっているのは、断面形が異なるためである。

$\sqrt{L/\lambda}$  が大きい所で Bottom の変動圧力がかなりあるのは、波粒子の Orbital Motion の加速度に比例する圧力が大きいためで、この程度の値になることは、円柱が、無限流体中で振動する場合の変動圧力の計算値と比較して確かめている。

## 5.2 正面規則波中で運動する船の横断面に働く変動圧力の時間分布

船体横断面のガス沿いに働く変動圧力は“42年度報告書46P.(6-16)より

$P(\theta) = P_0(\theta) \cos[\omega_e t + \nu(\theta)]$  で求められる。

ここで  $P_0(\theta) = \rho g h_A J(\theta)$  ..... 変動圧力の振巾

$v(0) = \dots$  位相

$$\rho = 104.512 \quad [KG \cdot S^2 m^{-4}] \dots\dots \text{海水の密度}$$

$g = 9.80665 [m \cdot S^{-2}]$  ..... 重力の加速度

$$\omega_e = 2\pi/T \quad \dots \dots [S^{-1}] \dots \dots \text{船と波との出会い円振動数}$$

$\theta$  = ..... [Deg.] ..... 船体横断面のガース沿いの位置

$h_A = \lambda_{50}$  ..... [m] ..... 波振巾

$\lambda$  = ..... [m] ..... 波長

変動圧力の振巾はTable.13から知れるように横断面のガース沿いの各点で異つた値をもつて時間経過につれて、ガース沿いでは様々な圧力分布形を示す。本項は基準船型( $T 6080, C 7065$ )の $N.2.5, 5, 7.5 S.S.$ における変動圧力の時間分布形の一例を示す。 $T 6080$ についてはFig.62~64に $C 7065$ についてはFig.65~67に示す。

以上の計算結果から次のことがいえる。

- 1) 変動圧力が最大となるのは  $\sqrt{\lambda/L} = 1.0$  の附近である。
- 2) 波頂が船体中央部に近づいたとき変動圧力がガース沿いの各点で比較的大であるような時間分布が存在する。

この分布形は各点での変動圧力の最大値を結ぶ包絡線で近似される。

- 3) 時間経過につれて横断面の一部で圧縮、残りの部分で引張の変動圧力の分布が存在する。圧縮と引張を分ける変動圧力  $0$  の点は時間経過につれて  $0$  (C) ~  $9$  (W.L) ~  $0$  (C) の周期運動をする。一般に  $\sqrt{\lambda/L} \leq 0.7$  では変動圧力の振巾は小さいけれどもガース沿いの各点での変動圧力の位相の範囲が広いので周期の大部分で圧縮、引張の変動圧力分布が生じる。 $\sqrt{\lambda/L} = 1.0$  では各点の位相の範囲は狭いので周期の短かい時間ではあるが振巾の大きい圧縮引張の変動圧力分布が生ずる。

### 5.3 変動圧力の短期分布と長期分布

船体断面に働く変動圧力の応答関数と、波スペクトルから、短期間のある海面状態での変動圧力の標準偏差を求め(短期分布)，その標準偏差と、海面状態の長期観測資料から、変動圧力の極値が、長期間の間に、ある値を超える確率を求める(長期分布)わけであるが、その計算式は、本研究部会の42年度報告において、波浪曲げモーメントの短期分布、長期分布を計算するのに用いられたものとまつたく同じであり、ただ波浪曲げモーメントの応答関数の代りに、変動圧力の応答関数を用いるだけである。波スペクトルも波浪曲げモーメントの場合と同じく、I.S.S.Cスペクトルを用い、長期の海面状態についても、同じくWalldenの、北大西洋における観測値を用いている。

計算は、Table.12に示すような状態について行なつた。

Table 12

Type	Ship	Section	断面上の位置	船長(m)	$F_n$
Cargo Ship	Standard	①	Side ( $\theta=90^\circ$ )	50, 100	0.1
	$L/B=7$		Bilge ( $\theta=50^\circ$ )	150, 200	0.2
	$C_B = 0.65$		Bottom ( $\theta=0^\circ$ )		0.3
Tanker	Standard	②	Side ( $\theta=90^\circ$ )	150, 200	0.1
	$L/B=6$		Bilge ( $\theta=50^\circ$ )	300, 400	0.15
	$C_B = 0.80$		Bottom ( $\theta=0^\circ$ )		0.2

Fig.68~Fig.85とFig.95~Fig.112は、変動圧力の標準偏差の有義波高に対する無次元値  $R = |P_H|/\rho g H$  と、平均波周期  $T$  との関係、および  $R$  と船長  $L$  との関係を示した図である。

Fig.86~Fig.94とFig.113~Fig.121は、変動圧力の期待値の吃水に対する無次元値  $|P_H|/\rho gd$  とその発現確率の常用対数  $\log_{10} Q$  との関係を示した図である。

以上の計算結果からわることは、

#### 5.3.1 貨物船船型の場合の短期分布について Fig.68~Fig.85 より

### (1) 断面上の位置の影響

変動圧力の標準偏差の無次元値  $R$  は、  $Side$  がもつとも大きく、また、平均波周期  $T$  の短い場合をのぞいて、  $Bilge$  の方が  $Bottom$  より大きい。

$R$  の最大値の比をとつてみると

$$F_n = 0.1 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.29 : 0.20$$

$$F_n = 0.2 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.55 : 0.38$$

$$F_n = 0.3 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.67 : 0.49$$

となつており、高速になるほど、  $Bilge$ 、  $Bottom$  の  $R$  の最大値と  $Side$  の  $R$  の最大値との差が少なくなつてゐる。

### (2) 船長の影響

船が長くなると、変動圧力の標準偏差の無次元値  $R$  の最大値の位置は、平均波周期  $T$  の長い方へずれるが、最大値の値そのものは、ほとんど一定である。したがつて、ある一定の波周期に対しては、  $R$  が最大となる船長が存在することになる。たとえば、  $F_n = 0.3$  の場合、  $Side$ 、  $Bilge$ 、  $Bottom$  とも、  $T = 8 \text{ sec}$  の波に対して  $R$  が最大となる船長は、およそ  $120 \text{ m}$  である。

### (3) 船速の影響

高速になれば、  $R$  の最大値の位置は、  $T$  の長い方へずれ、値も大きくなる。値が大きくなる割合は、  $Side$  より  $Bilge$  や  $Bottom$  の方が急である。

## 5.3.2 油送船舶型の場合の短期分布について Fig. 9 5～Fig. 11 2 より

### (1) 断面上の位置の影響

貨物船の場合とほとんど同じような傾向であり、  $R$  の最大値の比は、

$$F_n = 0.1 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.31 : 0.24$$

$$F_n = 0.15 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.36 : 0.25$$

$$F_n = 0.2 \text{ で } Side : Bilge : Bottom = 1 : 0.44 : 0.30$$

となつてゐる。

### (2) 船長の影響

貨物船の場合と同じく、船が長くなれば、  $R$  の最大値は、値はほど一定のまゝ  $T$  の長い方向へずれる。

$Side$  の変動圧力についてみると、船長が、貨物船より長いのにもかゝわらず、  $R$  の最大値は、貨物船と同じく、  $T = 8 \text{ sec}$  の前後で起つてゐる。

### (3) 船速の影響

高速になれば、  $R$  の最大値の位置が、ごくわずか、  $T$  の長い方へずれる。最大値の値そのものは、  $Side$  ではほとんど差がないが、  $Bilge$ 、  $Bottom$  では、高速になるほど大きくなる。ただし、その傾向は、貨物船の場合ほど大きくはない。

## 5.3.3 貨物船舶型の場合の長期分布について Fig. 8 6～Fig. 9 4 より

### (1) 断面上の位置の影響

変動圧力の極値がある一定の値を超える確率は、  $Side$ 、  $Bilge$ 、  $Bottom$  の順に低くなる。いいかえればある一定期間航行する場合、変動圧力の極値の期待値は  $Side$ 、  $Bilge$ 、  $Bottom$  の順に小さくなる。

### (2) 船長の影響

船が短いほど、変動圧力の極値  $|P_H^*|/\rho gd$  がある一定値を超える確率は高い。

### (3) 船速の影響

高速になるほど、  $|P_H^*|/\rho gd$  のある一定値を超える確率は高い。

5.3.4 油送船船型の場合の長期分布について Fig. 113 ~ Fig. 121 より

(1) 断面上の位置の影響

貨物船の場合と同じ傾向である。

(2) 船長の影響

貨物船の場合と同じ傾向である。

(3) 船速の影響

Side は、船速による影響は、ほとんどない。Bilge, Bottom では  $|P_{H\rho_{pgd}}^{\text{side}}$  の一定値を超える確率は、高速ほど高い、しかし貨物船の場合ほど、その差は大きくない。

Table 15 船体中央部の変動圧力(振巾, 位相)

Tanker $L/B=6.0$ $B/d=3.0$ $C_b=0.80$					Cargo Ship $L/B=7.0$ $B/d=2.5$ $C_b=0.65$				
Case	Station	$\frac{ P_H }{\rho g h A}$	$\frac{ P_H }{\rho g d}$	$\nu$ Deg.	Case	Station	$\frac{ P_H }{\rho g h A}$	$\frac{ P_H }{\rho g d}$	$\nu$ Deg.
$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr = 0$	0	0.3538	0.1274	25° 31'	$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr = 0$	0	0.2792	0.0977	16° 37'
	1	0.3625	0.1305	25 07		1	0.2848	0.0997	16 22
	2	0.3875	0.1396	24 04		2	0.3019	0.1057	15 40
	3	0.4303	0.1549	22 40		3	0.3313	0.1160	14 43
	4	0.4889	0.1760	21 15		4	0.3739	0.1308	13 44
	5	0.5622	0.2024	20 02		5	0.4300	0.1505	12 54
	6	0.6492	0.2337	19 08		6	0.5001	0.1750	12 16
	7	0.7484	0.2693	18 31		7	0.5842	0.2044	11 52
	8	0.8569	0.3085	18 08		8	0.6811	0.2384	11 37
	9	0.9716	0.3498	17 57		9	0.7826	0.2752	11 31
$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr=0.10$	0	0.2507	0.0902	48° 30'	$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr=0.10$	0	0.1737	0.0608	72° 11'
	1	0.2539	0.0914	47 31		1	0.1684	0.0589	72 08
	2	0.2643	0.0952	44 43		2	0.1537	0.0538	71 36
	3	0.2847	0.1025	40 34		3	0.1330	0.0465	68 57
	4	0.3182	0.1146	35 34		4	0.1122	0.0392	60 49
	5	0.3676	0.1323	30 43		5	0.1032	0.0361	43 19
	6	0.4347	0.1565	26 43		6	0.1224	0.0428	21 44
	7	0.5196	0.1871	23 45		7	0.1756	0.0615	7 47
	8	0.6210	0.2236	21 40		8	0.2568	0.0899	1 40
	9	0.7345	0.2644	20 22		9	0.3590	0.1257	0 30
$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr=0.15$	0	0.3834	0.1382	63° 07'	$\sqrt{\lambda/L}=1.00$ $(\lambda/L=1.00)$ $Fr=0.20$	0	0.3819	0.2556	58° 28'
	1	0.3928	0.1414	62 34		1	0.3910	0.2617	58 29
	2	0.4192	0.1509	60 54		2	0.4182	0.2797	58 26
	3	0.4622	0.1664	58 38		3	0.4612	0.3075	58 20
	4	0.5205	0.1874	55 54		4	0.5170	0.3428	58 08
	5	0.5921	0.2132	53 07		5	0.5815	0.3829	57 53
	6	0.6755	0.2432	50 27		6	0.6507	0.4255	57 38
	7	0.7689	0.2770	48 07		7	0.7189	0.4688	57 32
	8	0.8701	0.3133	46 07		8	0.7815	0.5115	57 40
	9	0.9747	0.3509	44 43		9	0.8246	0.5522	58 14

Fig. 3. A use of the CFDPS method to predict steady-state flow

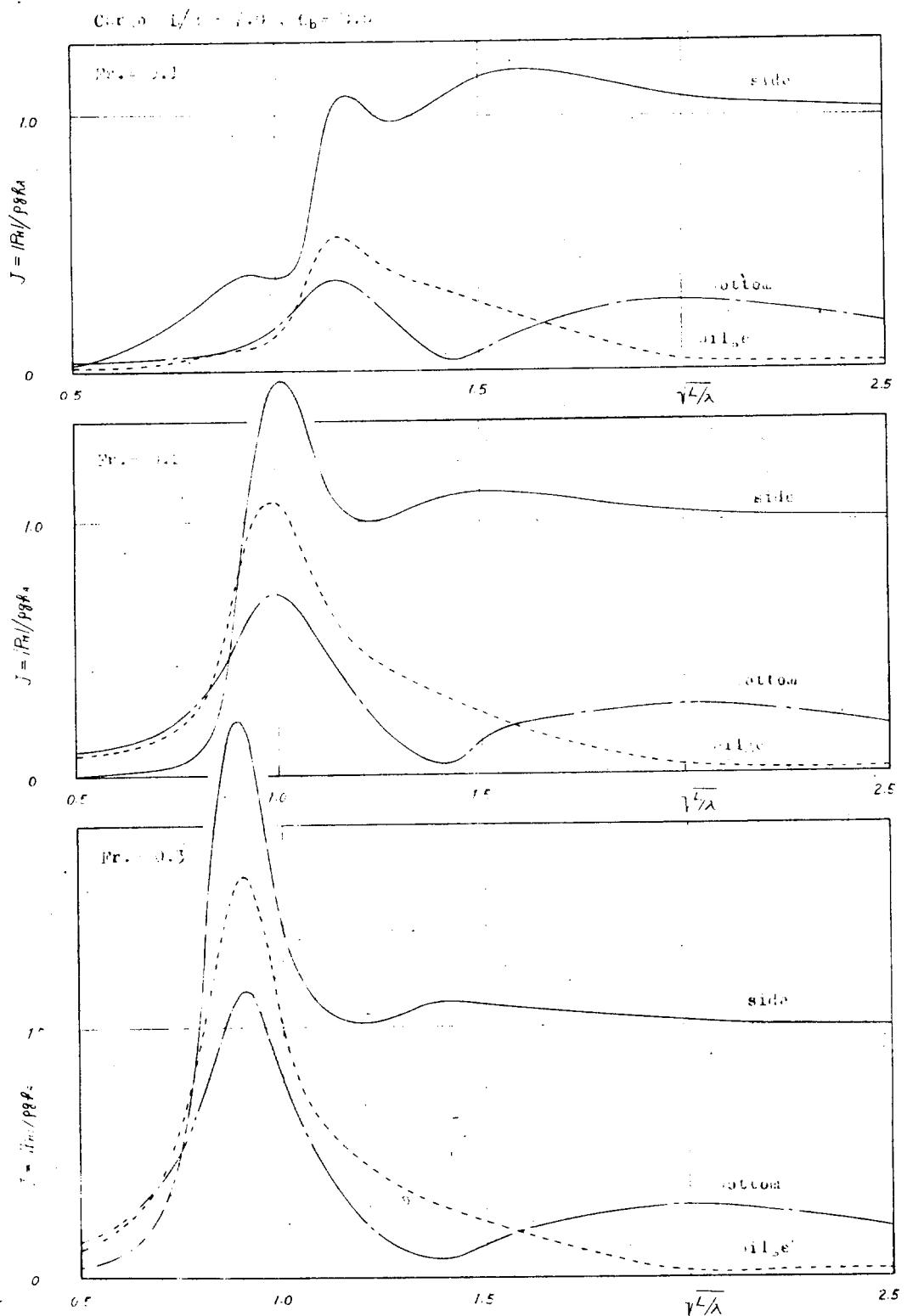


Fig. 60

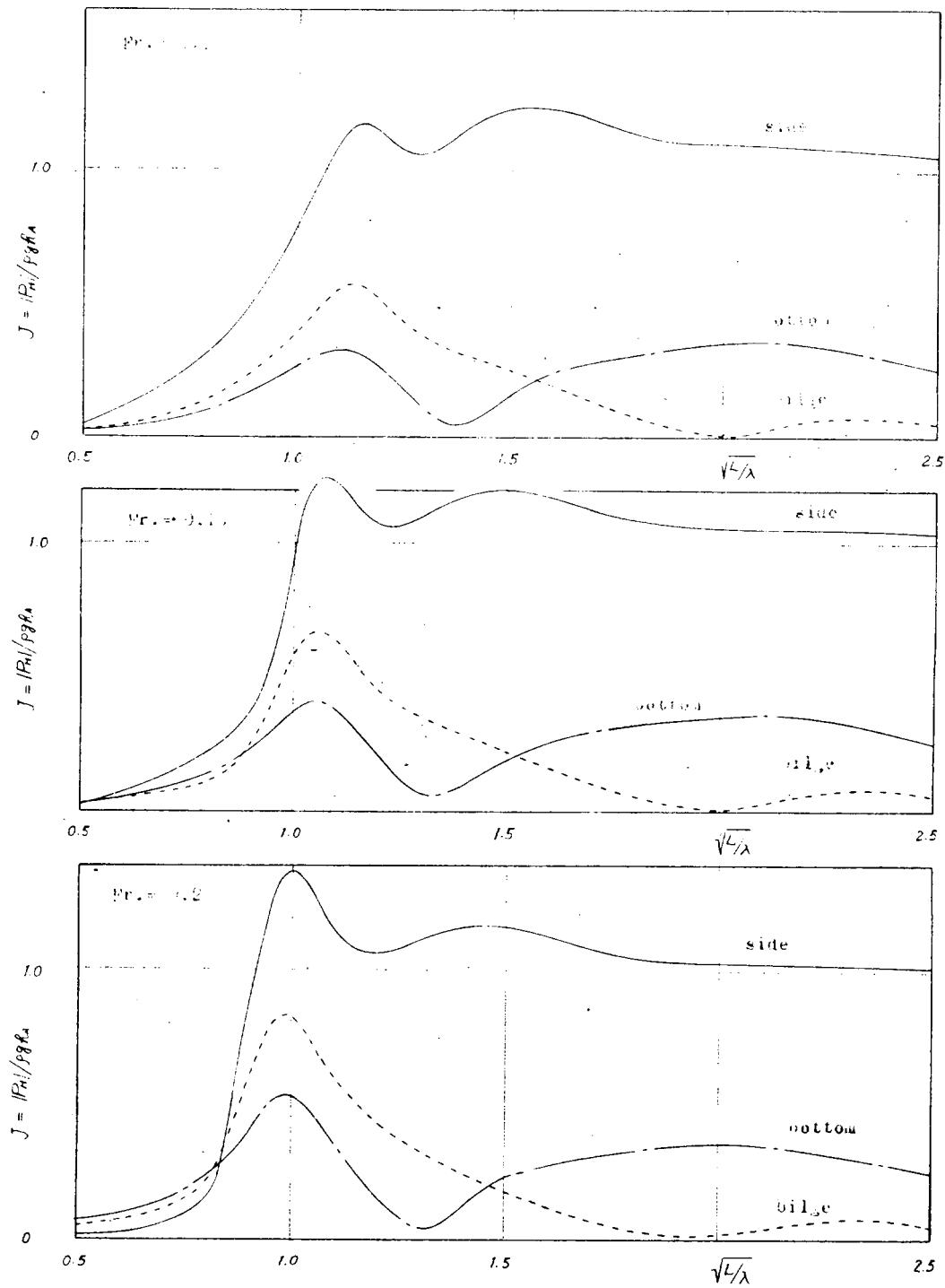


Fig. 61

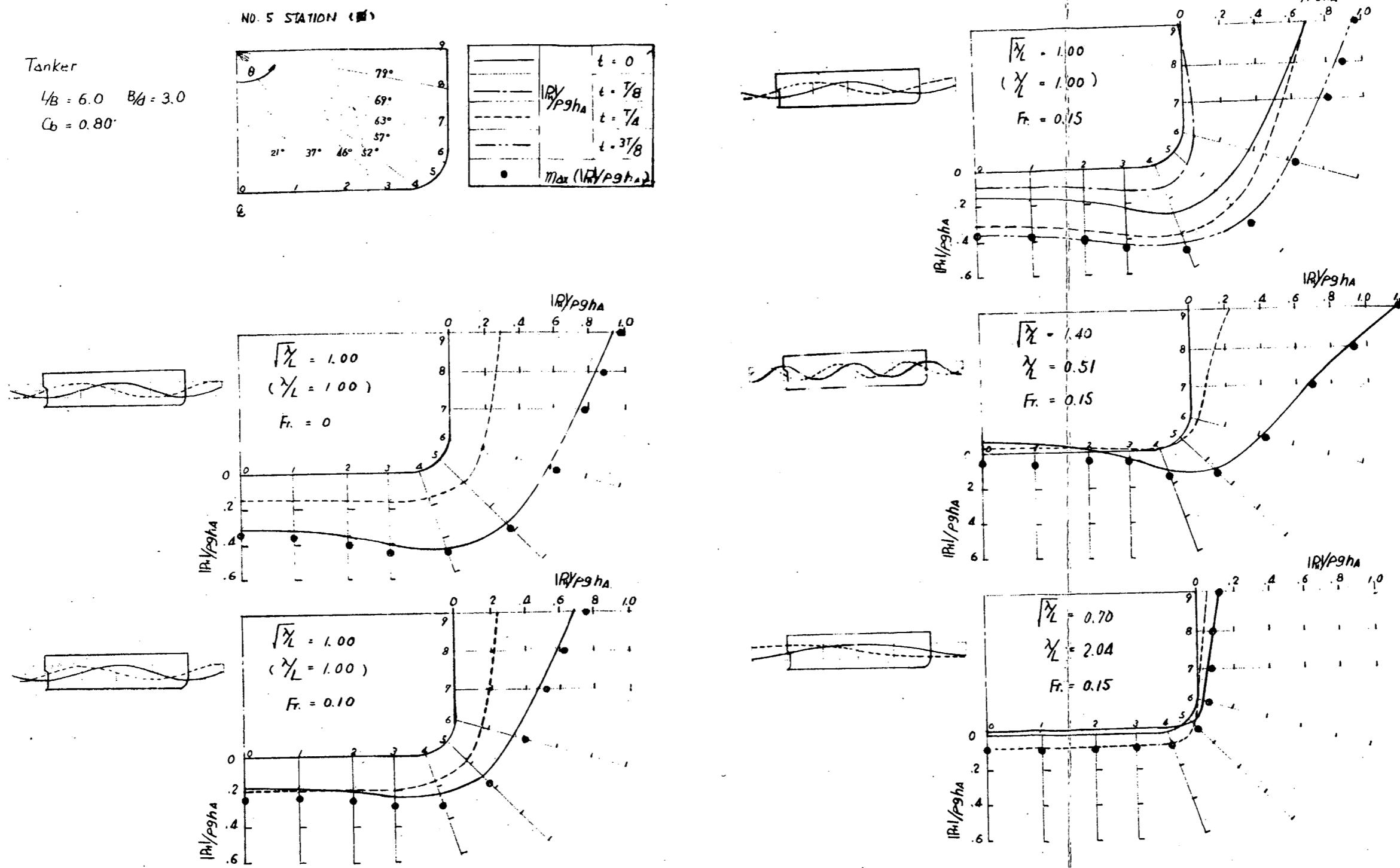


Fig. 52

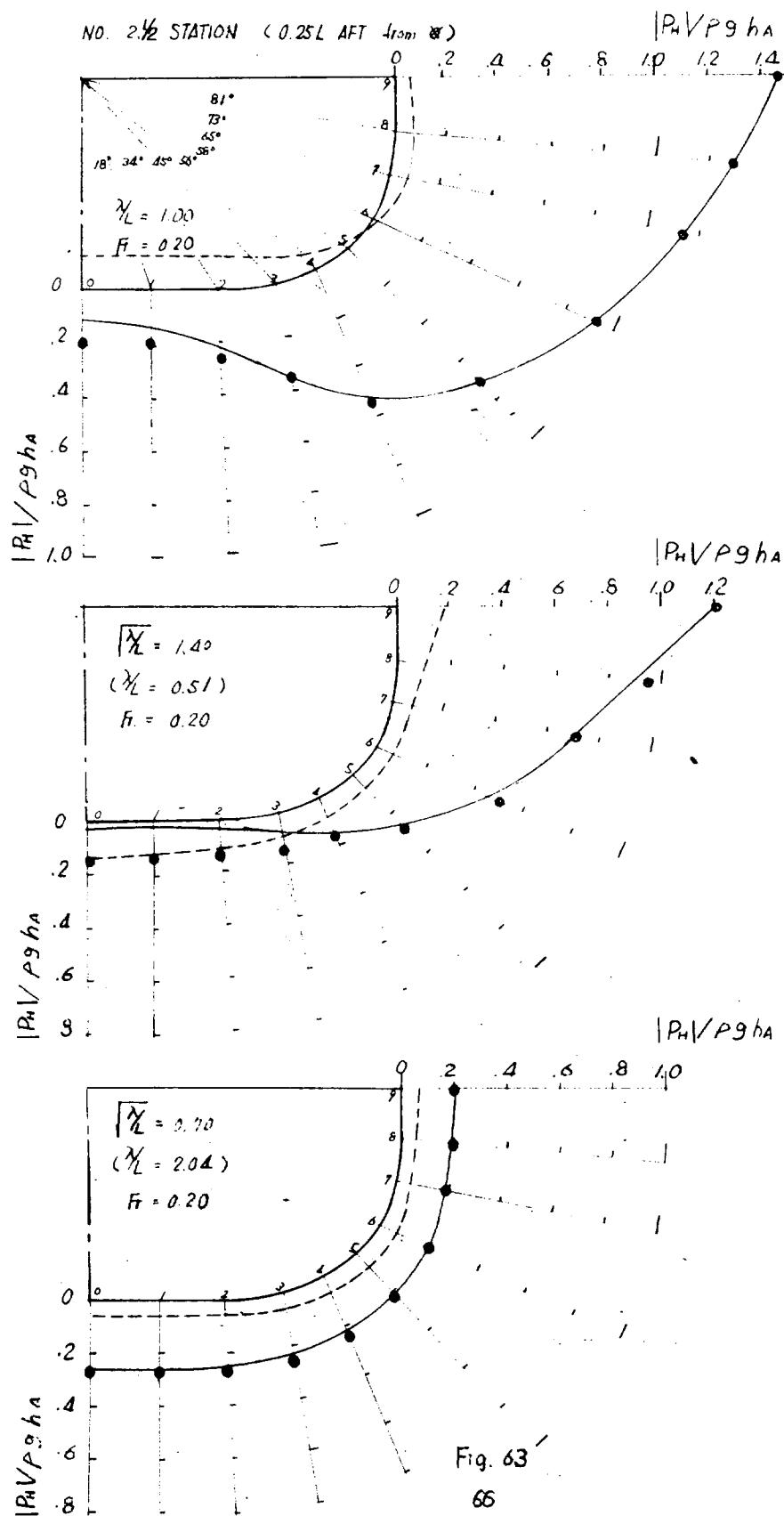


Fig. 63

66

Fig. 63

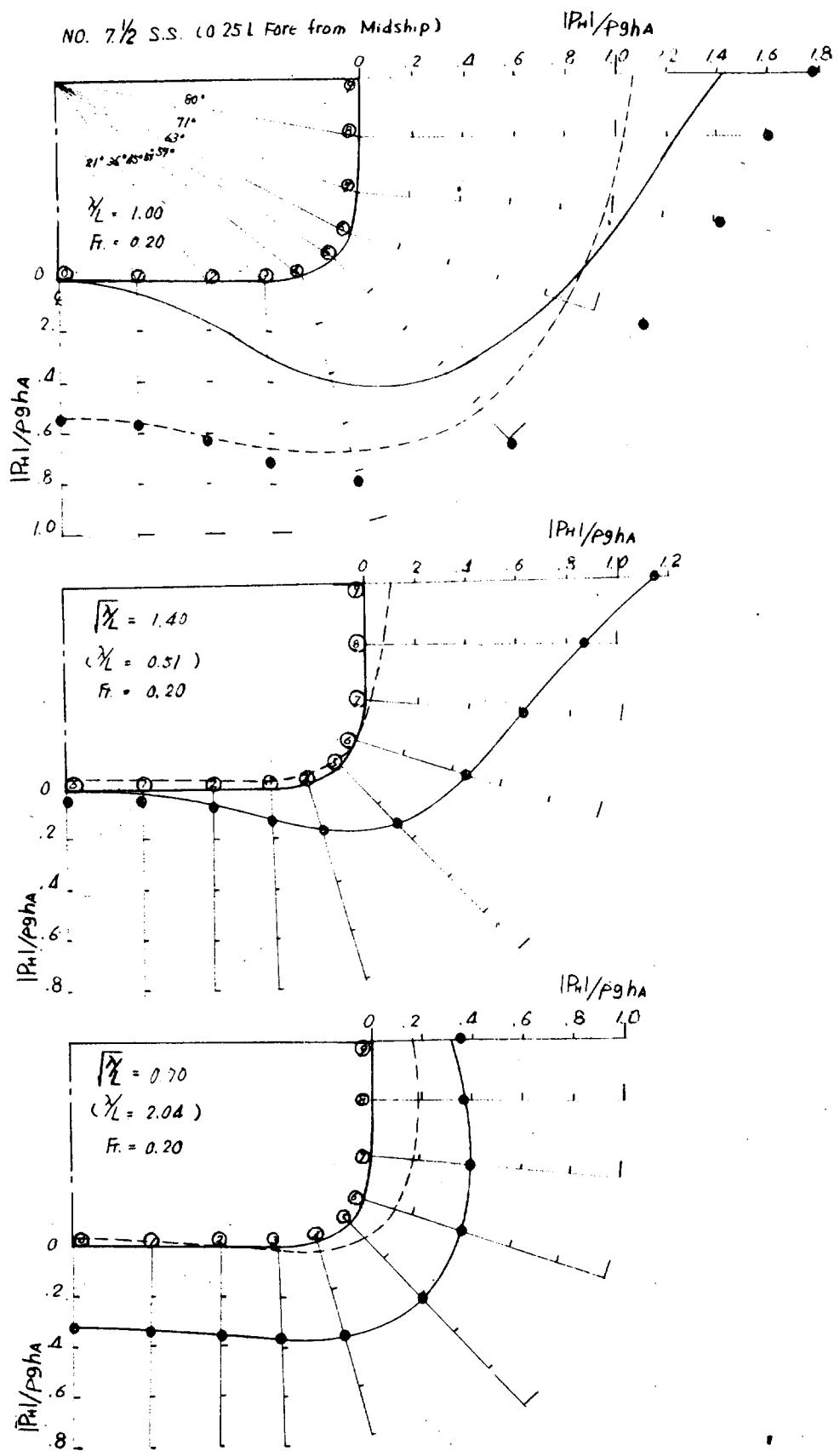


Fig. 64

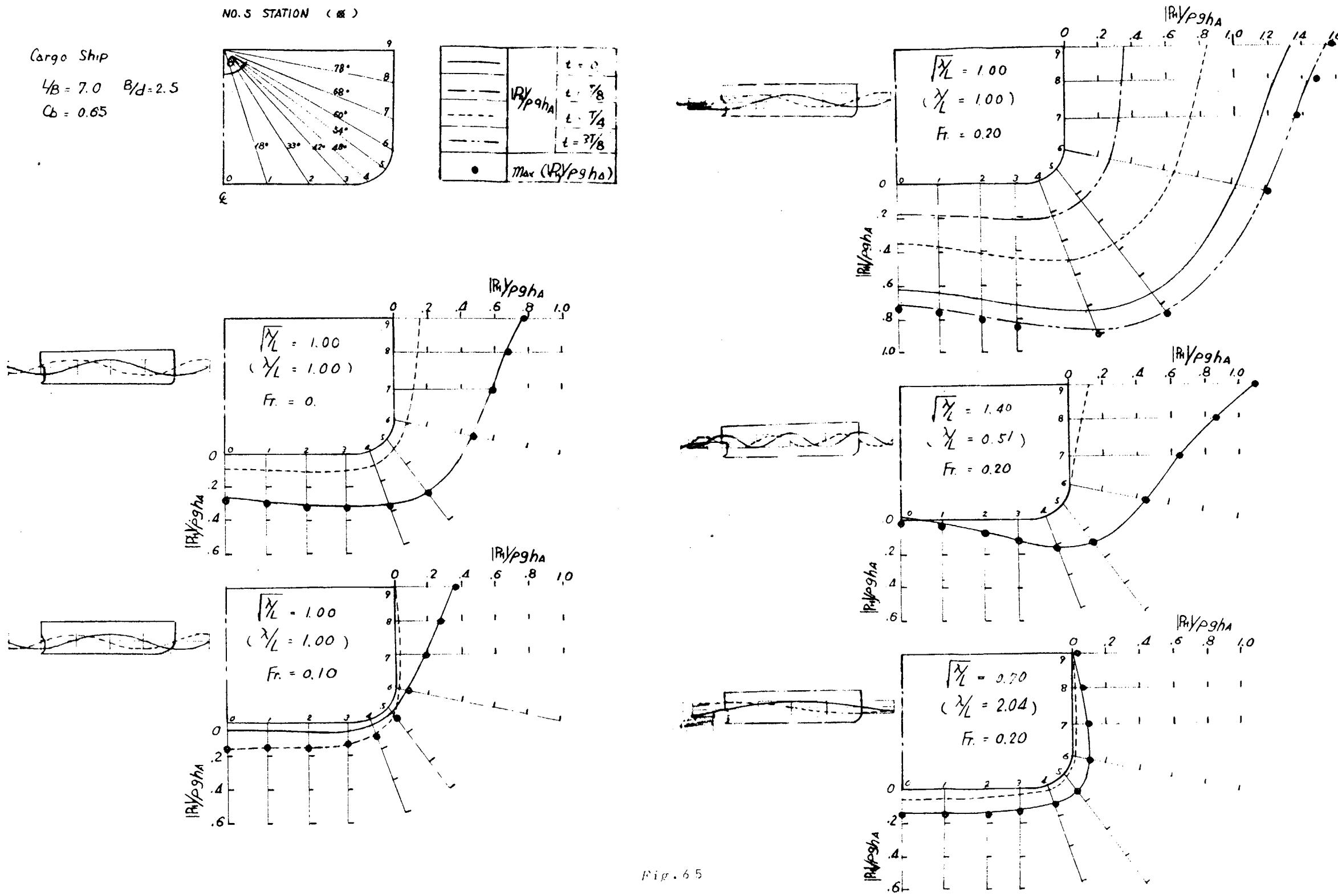


Fig. 65

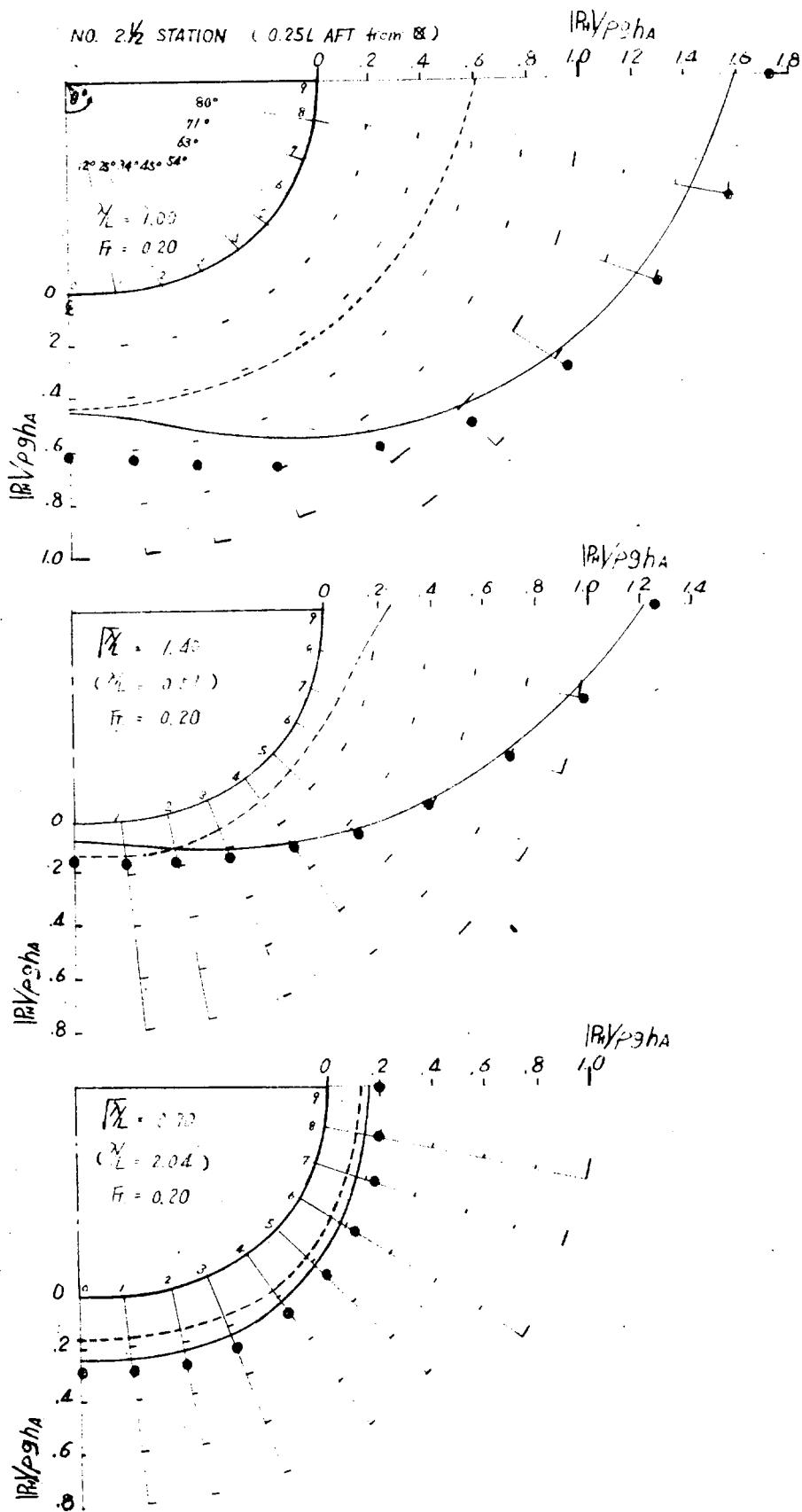


Fig. 66

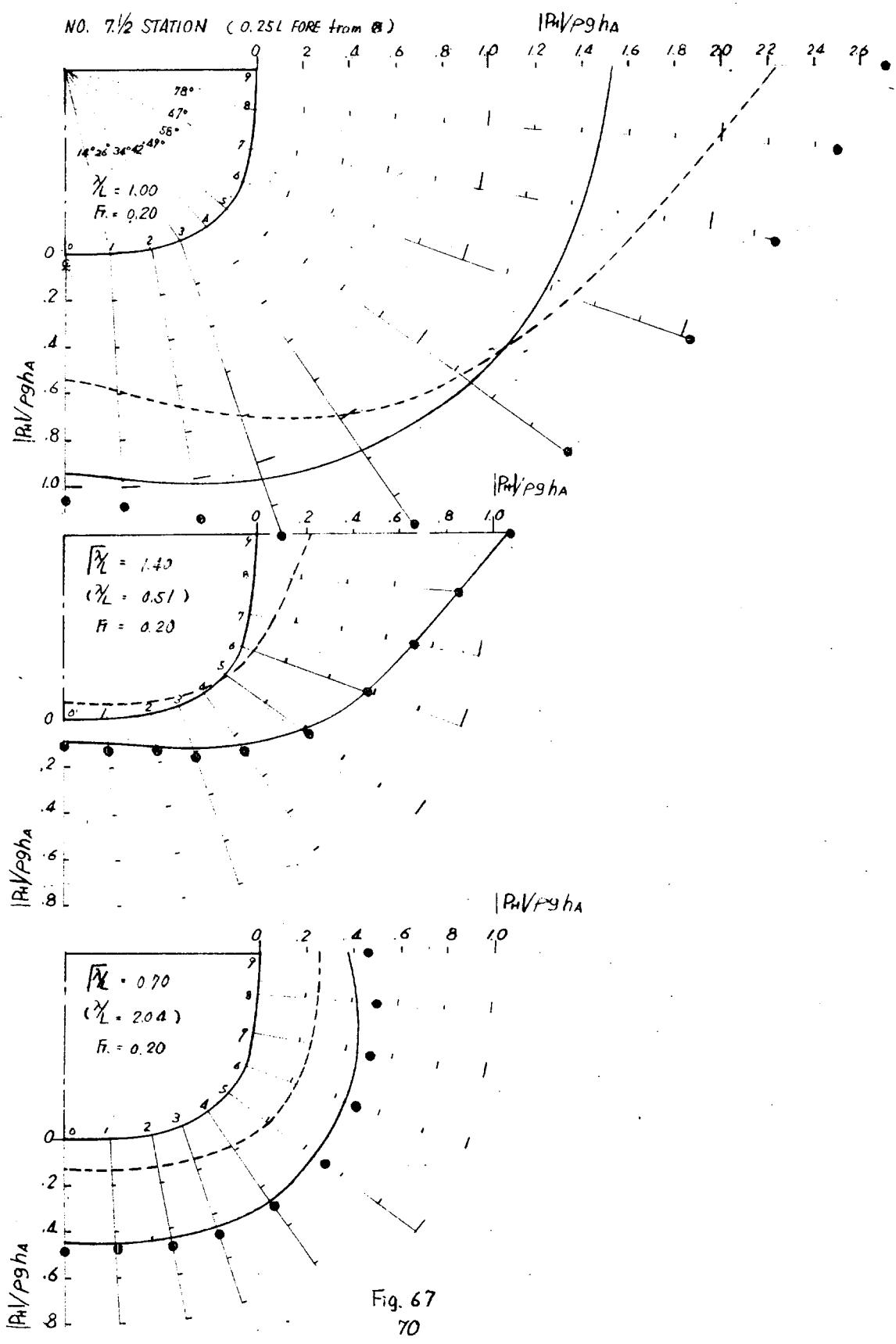
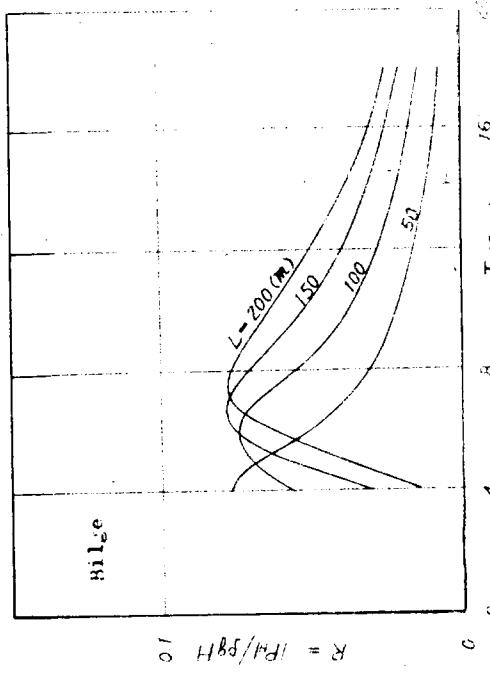
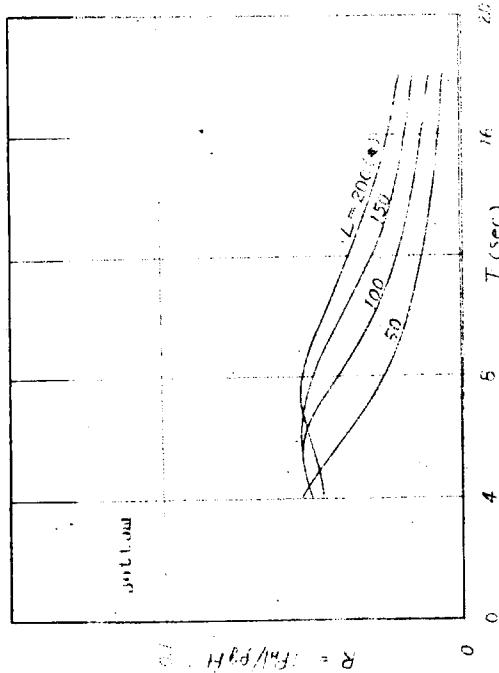
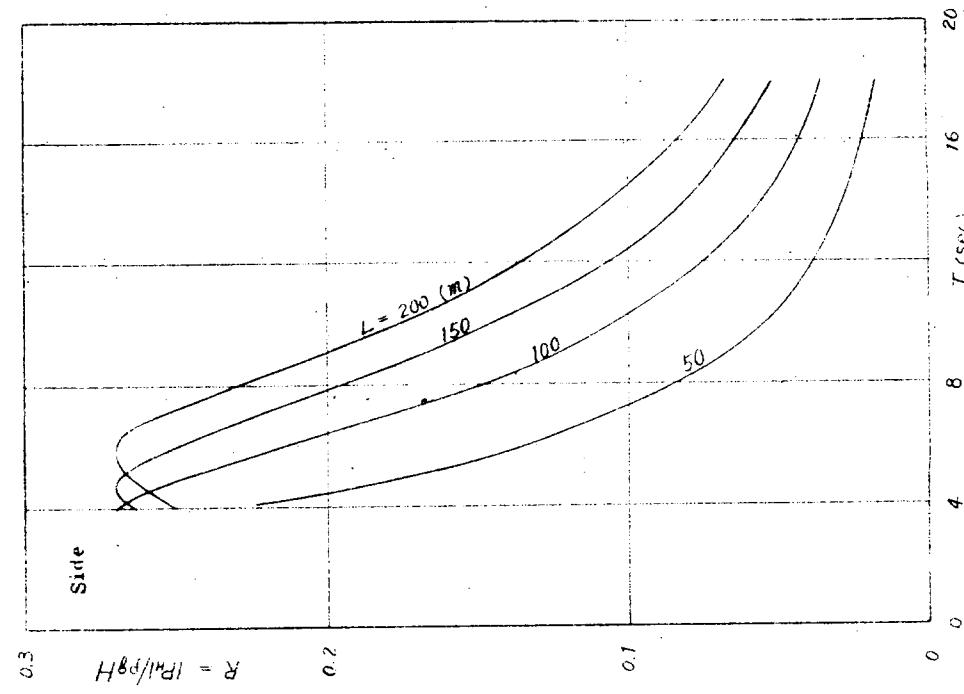


Fig. 67  
70

Fig. 67

STANDARD DEVIATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
 ( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )

CARGO :  $L/B = 7.0$ ,  $c_b = 0.65$   
 $Pr = 0.1$



STANDARD DEVIATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

CARGO :  $L/B = 7.0$ ,  $C_L = 0.65$

$Fr = 0.1$

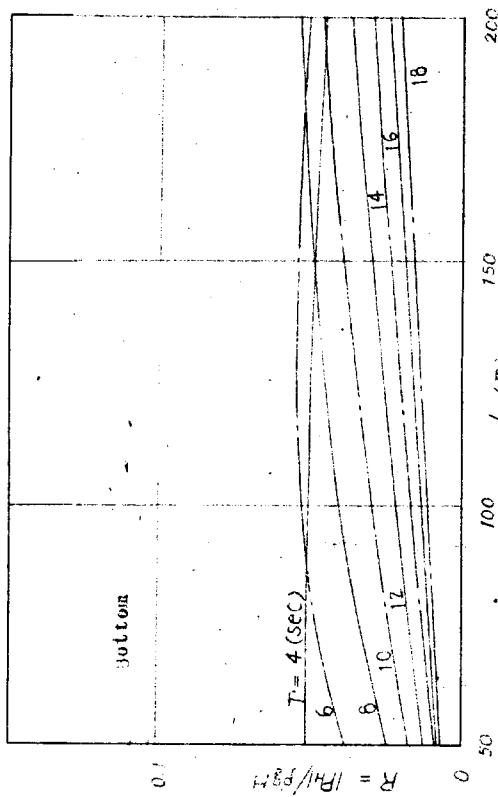
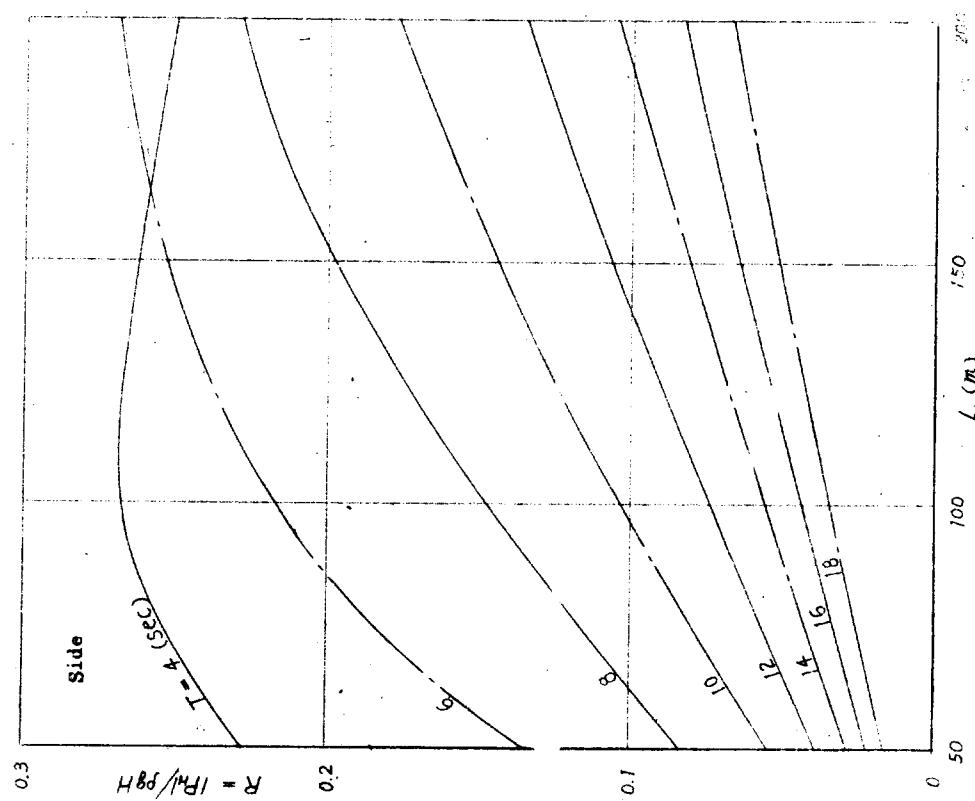


Fig. 71

- 56 -

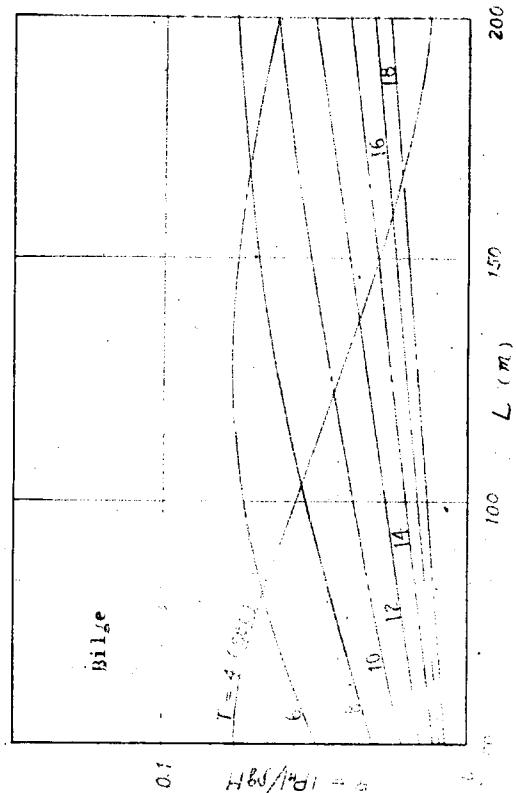


Fig. 72

STANDARD DEVIATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )

CARGO :  $L/B = 7.0$ ,  $C_b = 0.65$

$Fr = 0.2$

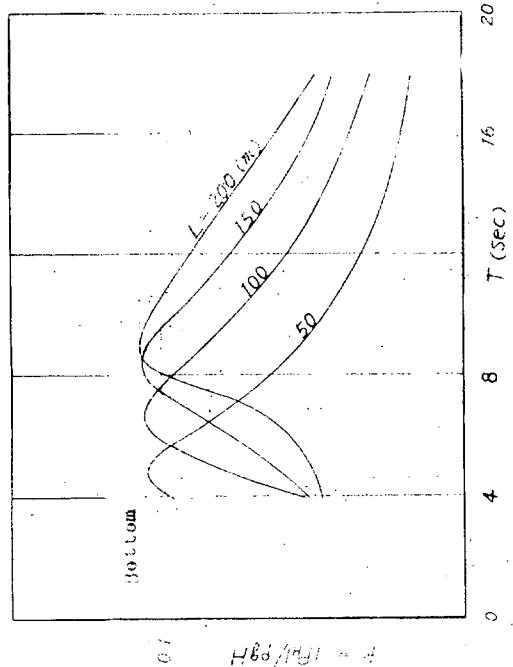
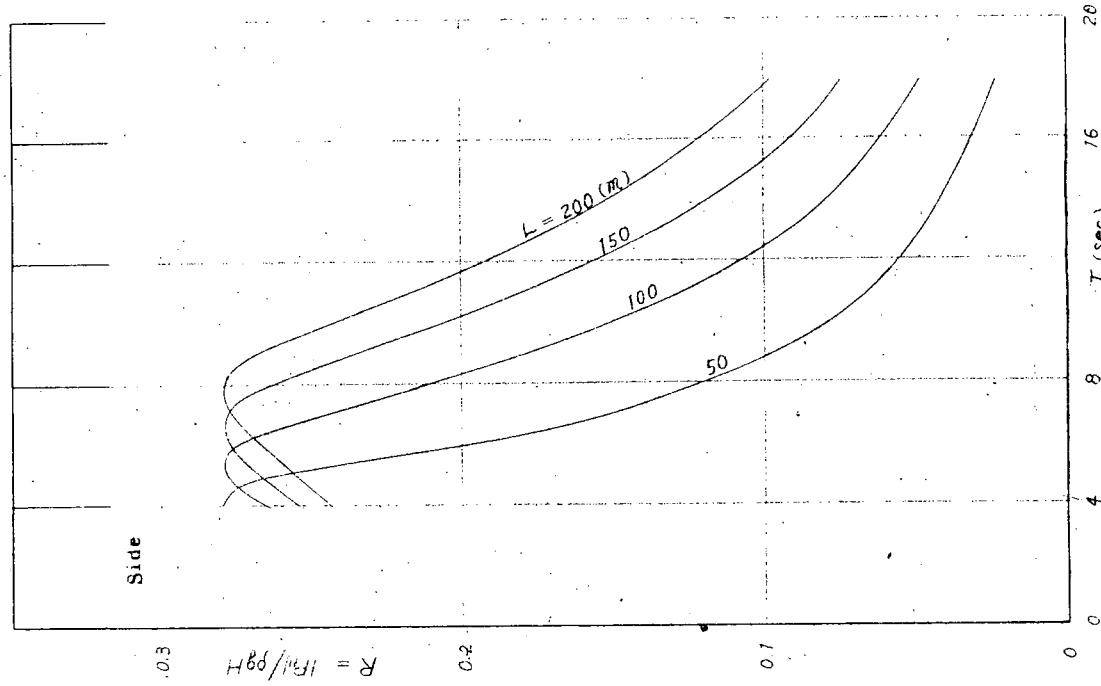
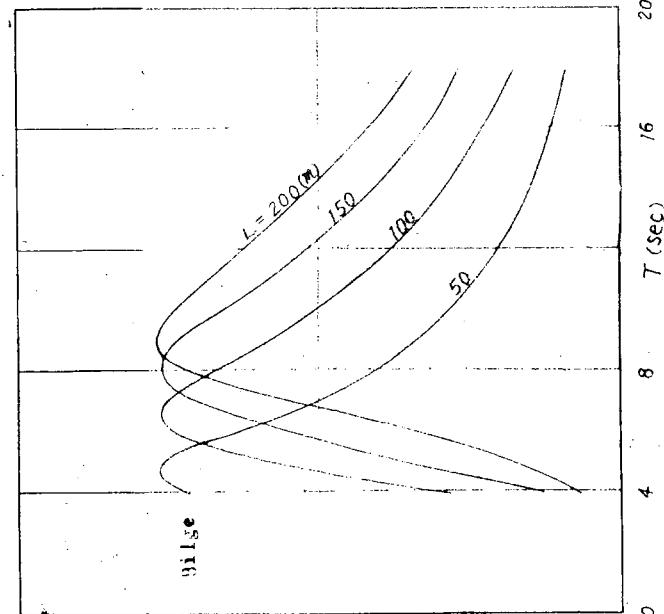


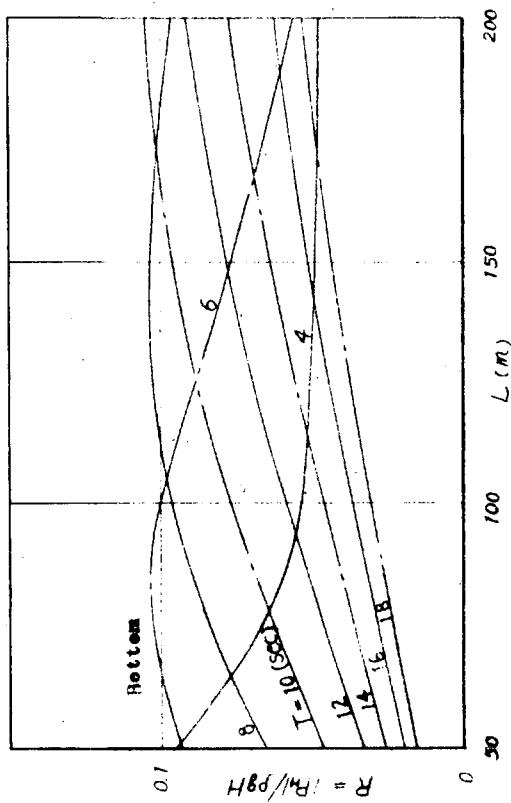
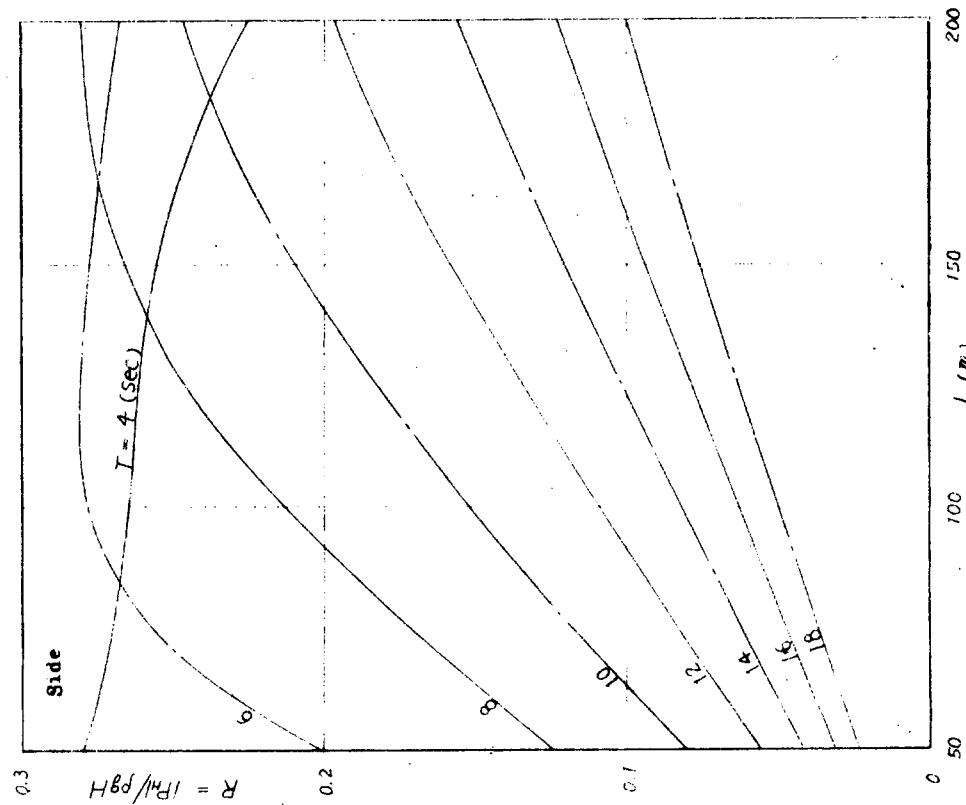
Fig. 74



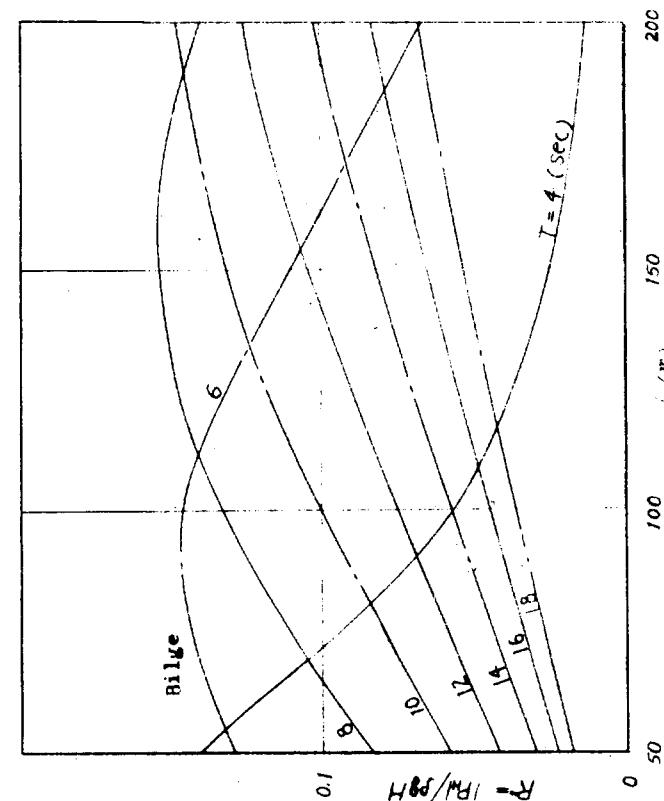
STANDARD DEVIATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

CARGO :  $L/B = 7.5$ ,  $C_b = 0.65$

$Pr = 0.2$



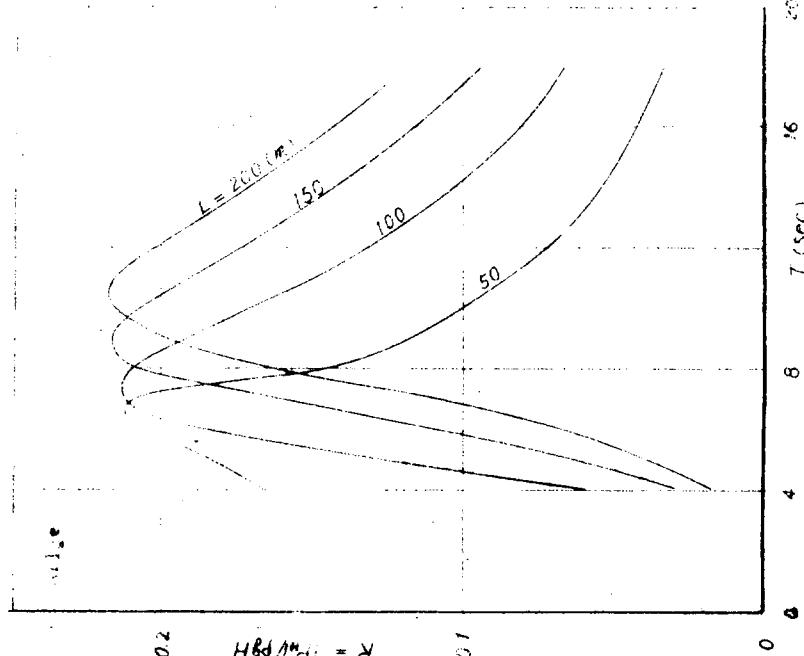
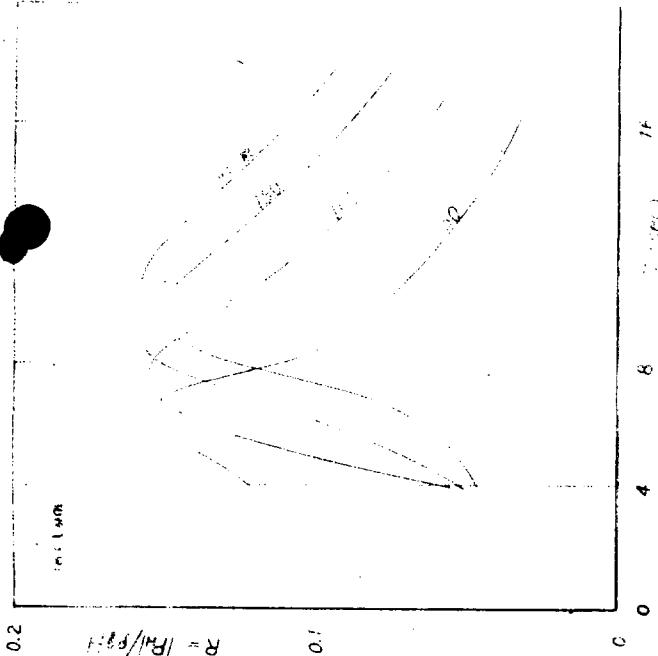
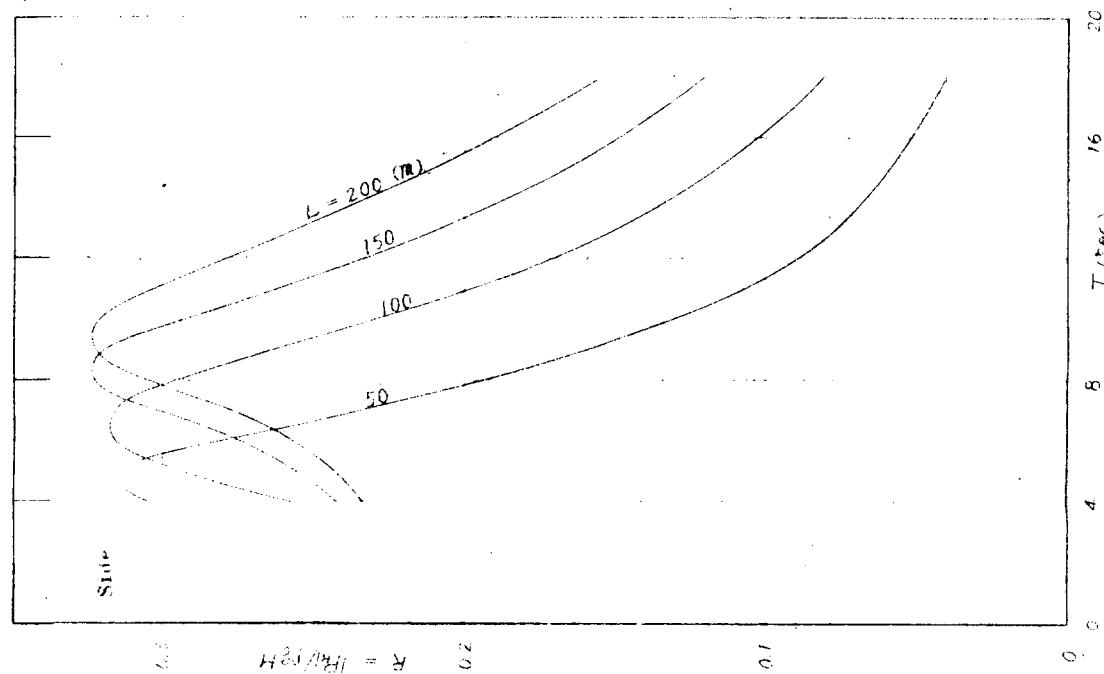
*Fig. 77*



*Fig. 78*

**STANDARD DEVIATION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )**

CARGO :  $L/B = 7.0$ ,  $C_b = 0.65$   
 $Fr = 0.3$



STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

CARGO :  $L/B = 7.0$ ,  $c_b = 0.65$

$Pr = 0.5$

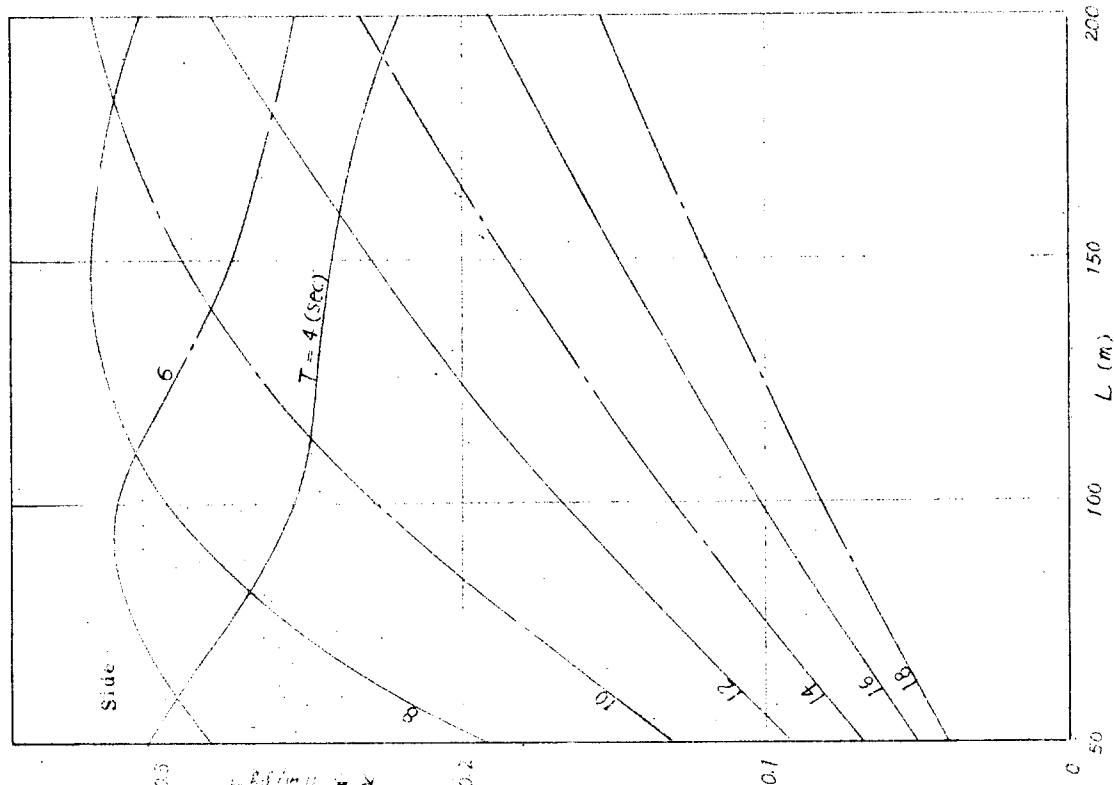


Fig. 85

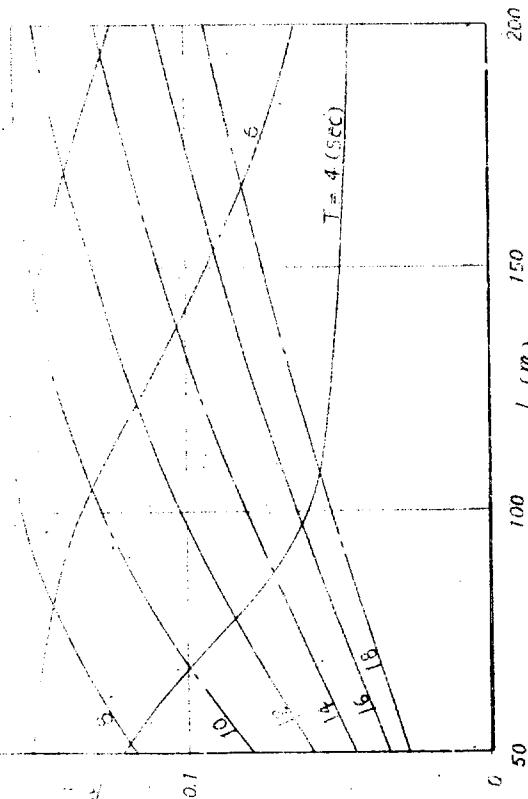


Fig. 83

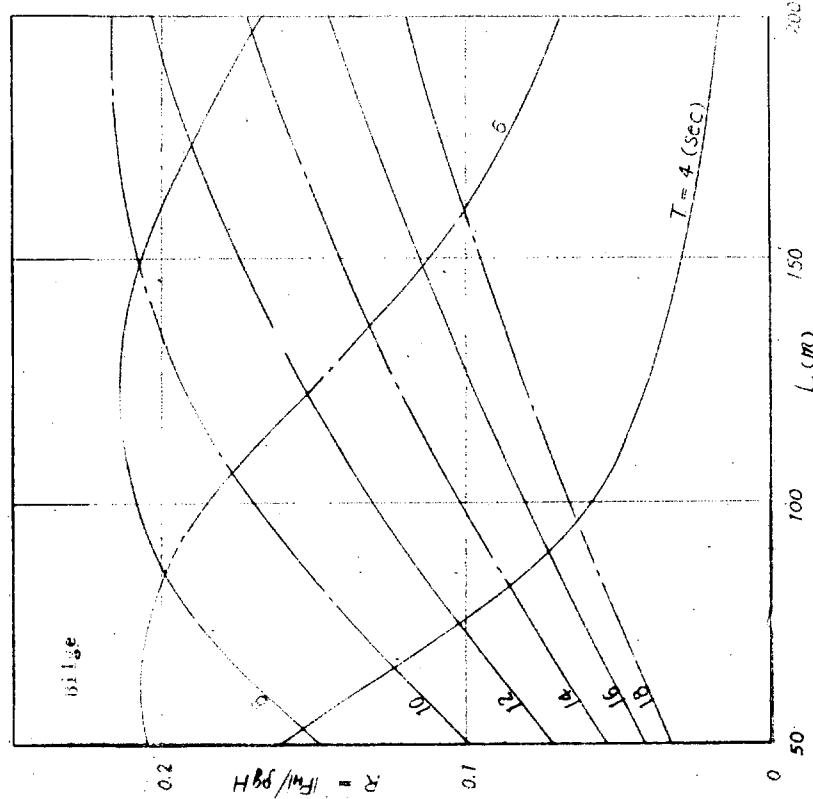


Fig. 84

LONG-TERM DISTRIBUTIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN THE NORTH ATLANTIC )

CARGO :  $L/b = 7.0$  ,  $c_b = 0.65$   
 $Fr = 0.1$

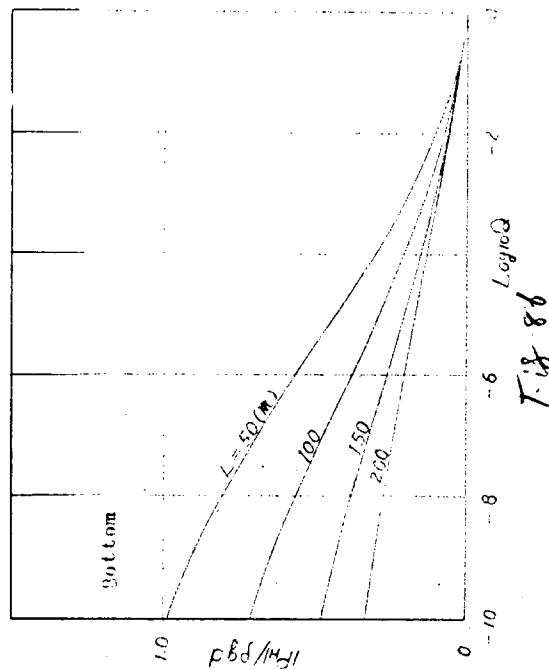


Fig. 8 6

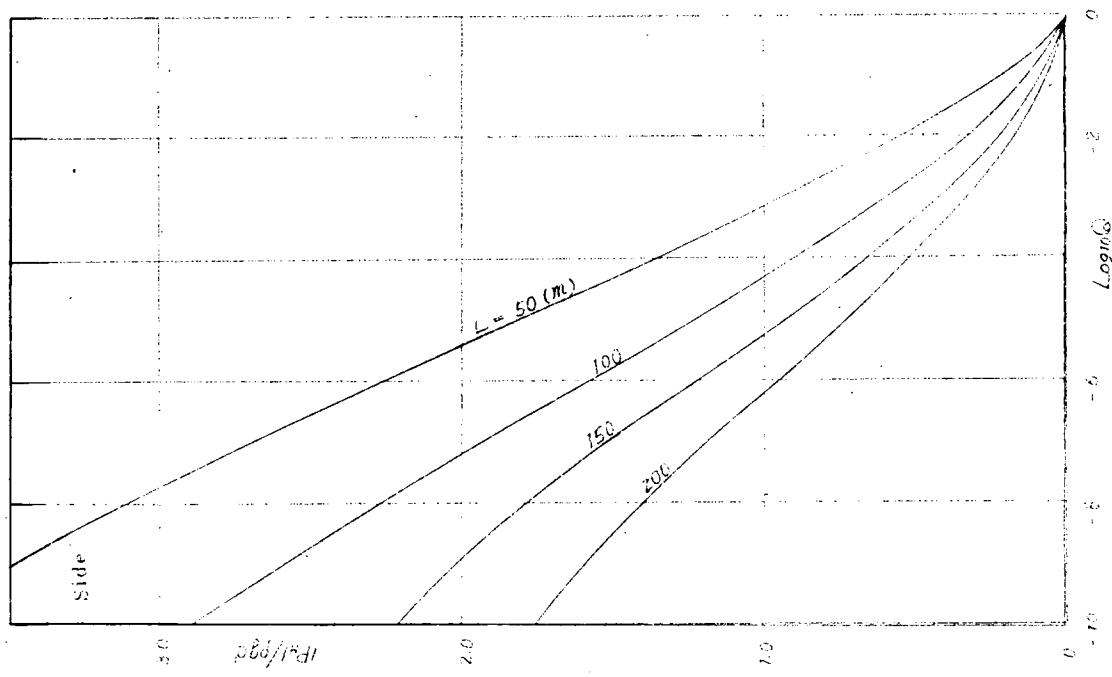


Fig. 8 8

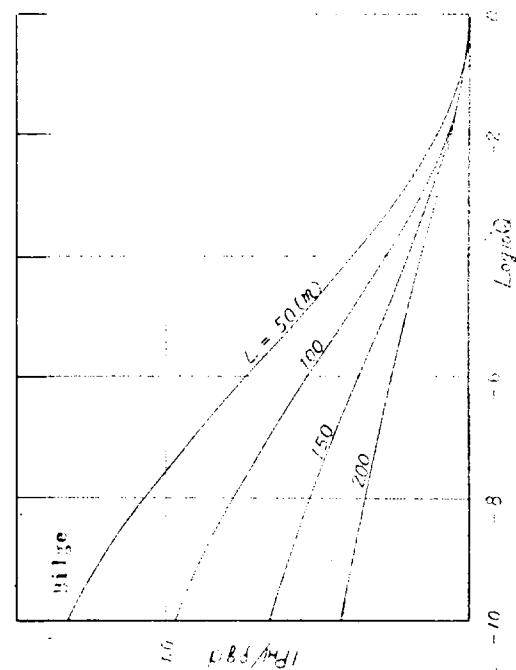


Fig. 8 7

Laminar distributions of hydrodynamic stresses  
(in the North Atlantic)

$$C_{r,0} = L' / (L' + C_b \cdot t_r) ; \quad p_{r,0} = p_r \cdot e^{-q_r t_r}$$

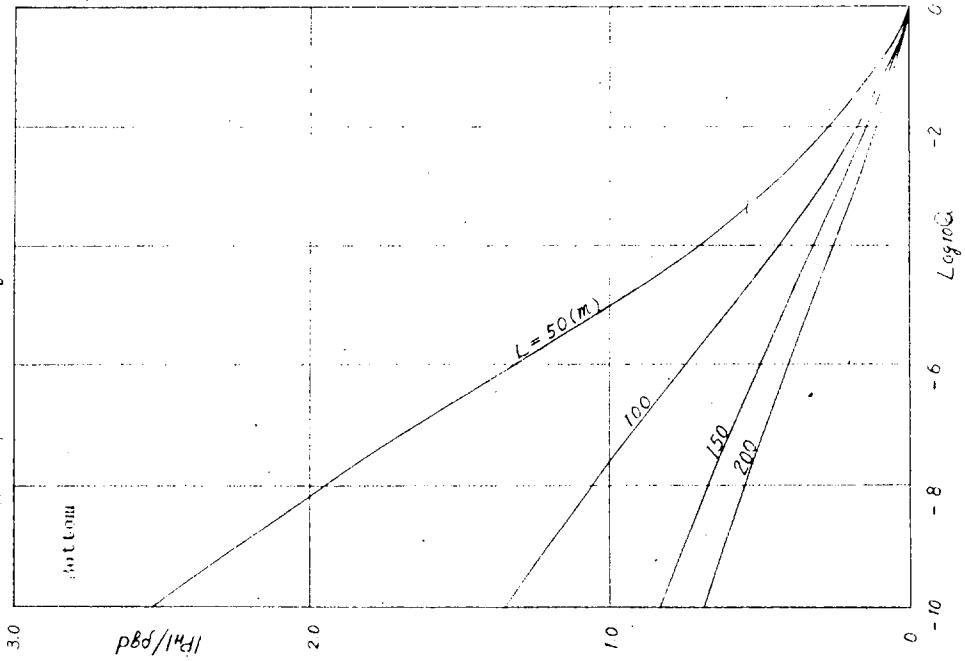
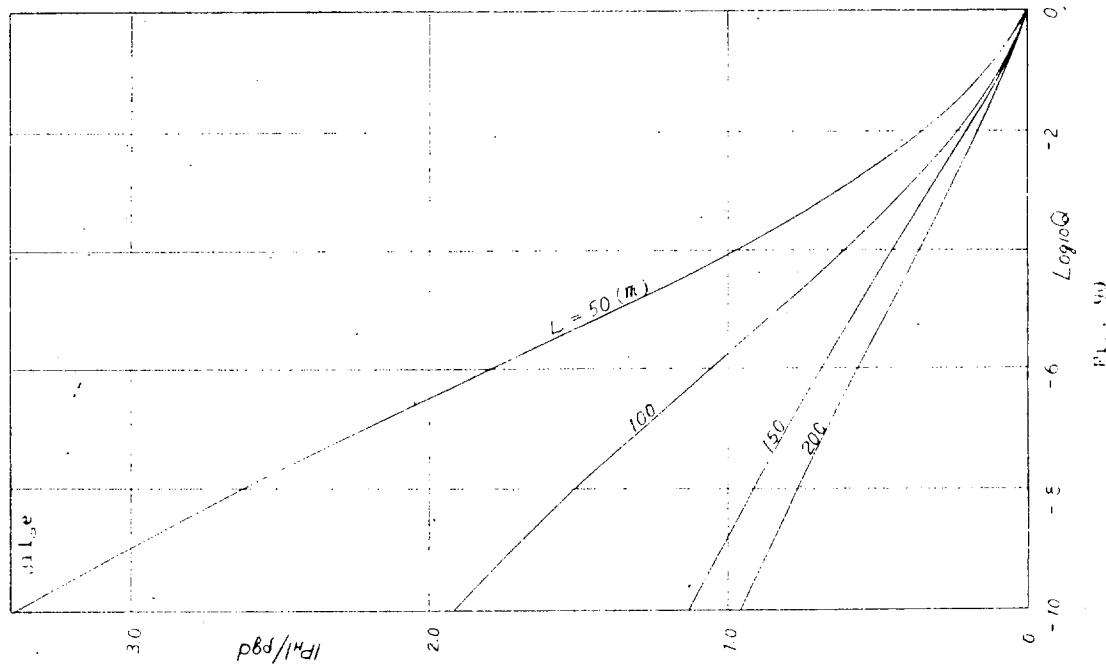


Fig. 39



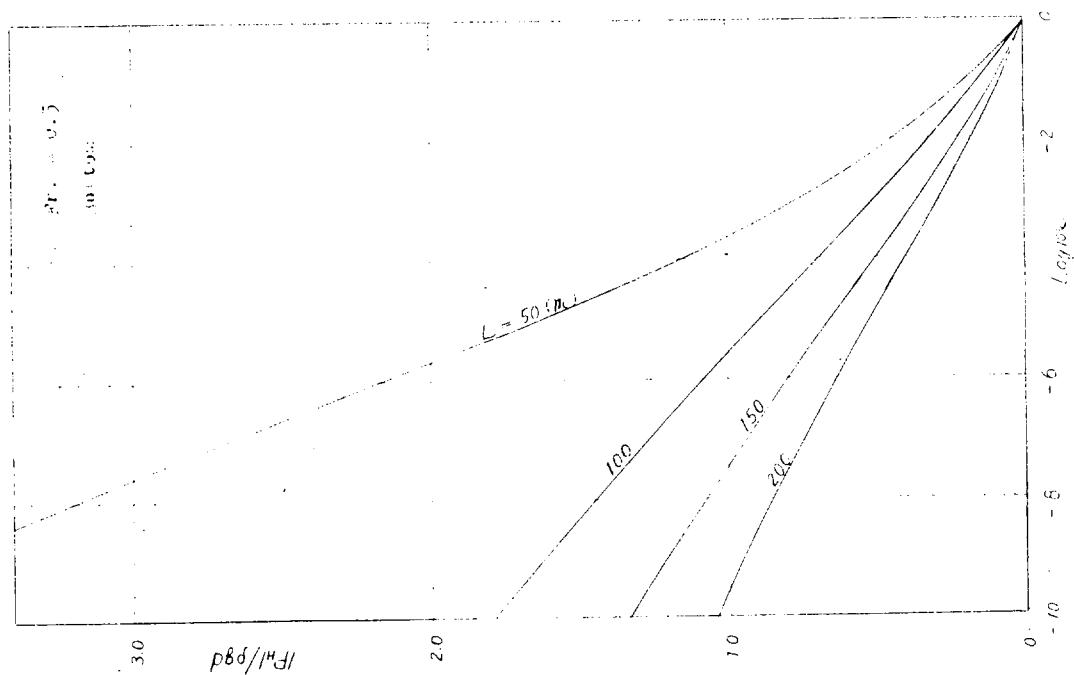


Fig. 9.2

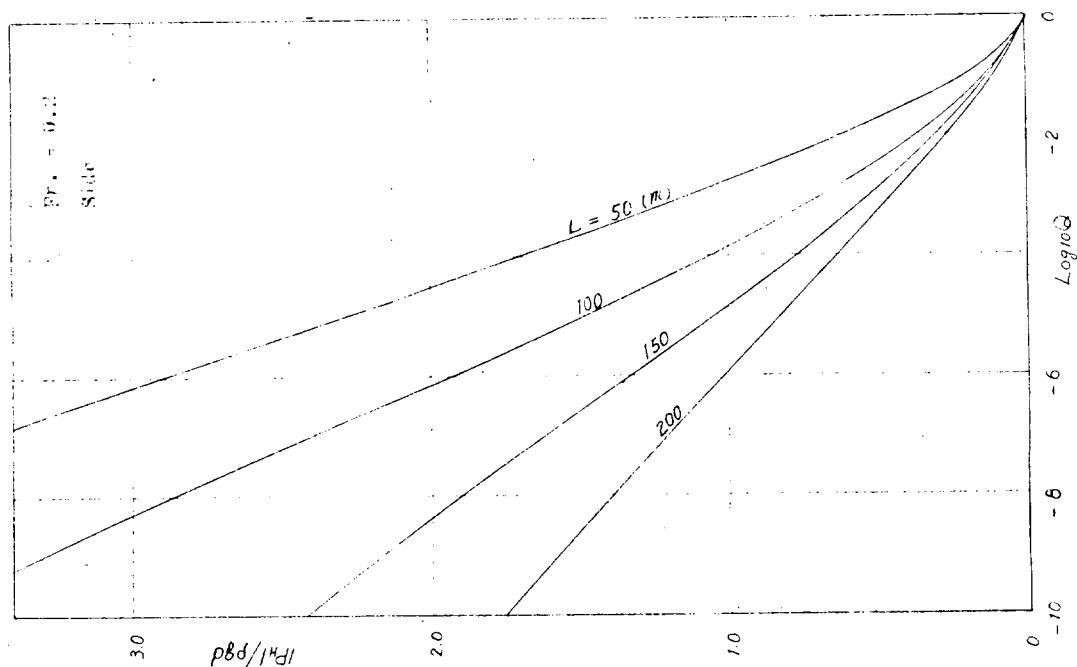


Fig. 9.1

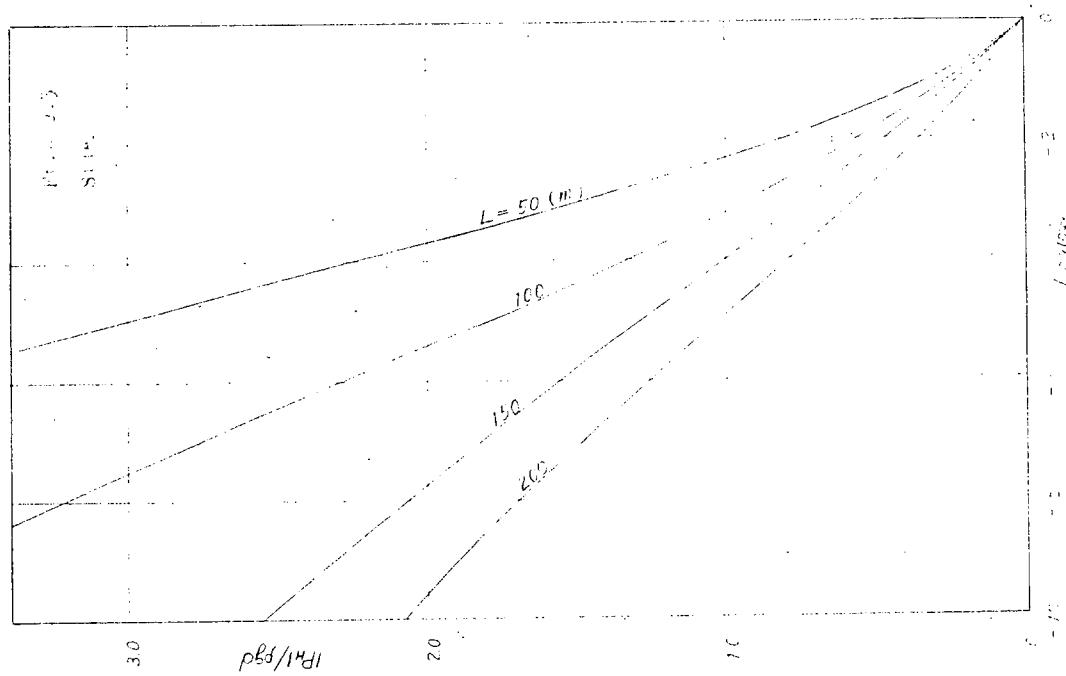


Fig. 94

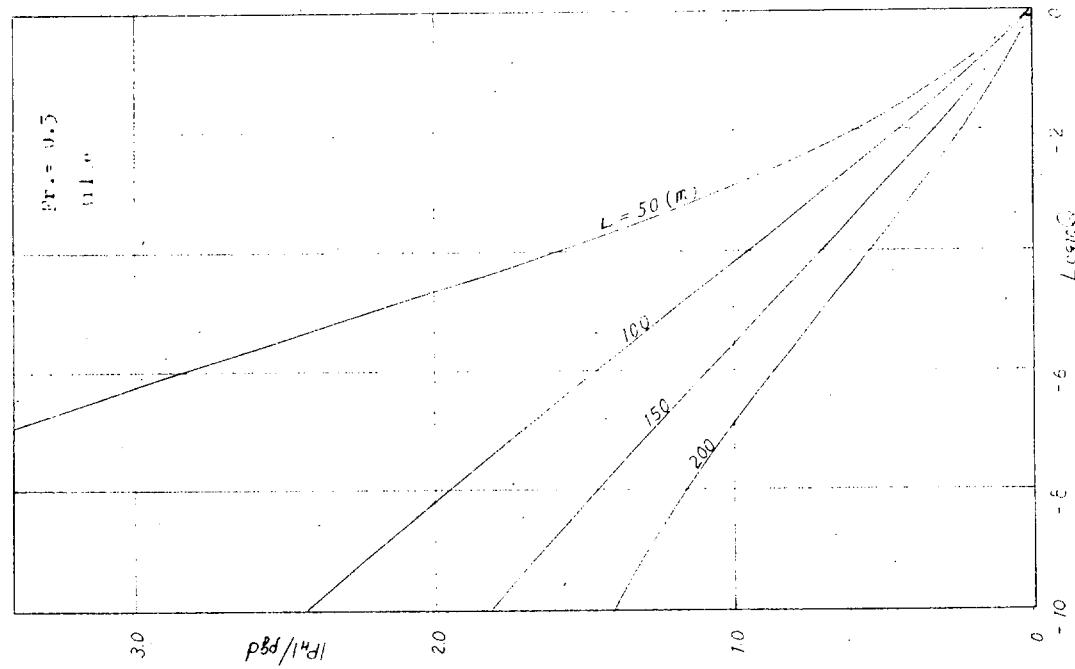


Fig. 93

STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$   
 $Pr = 0.1$

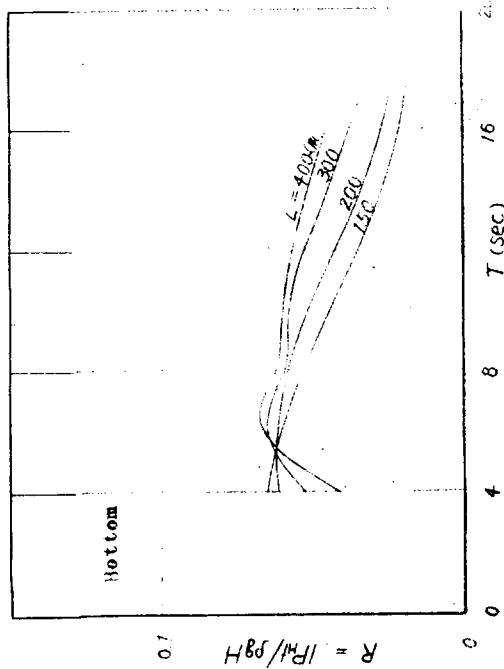


Fig. 9 5

Fig. 9 7

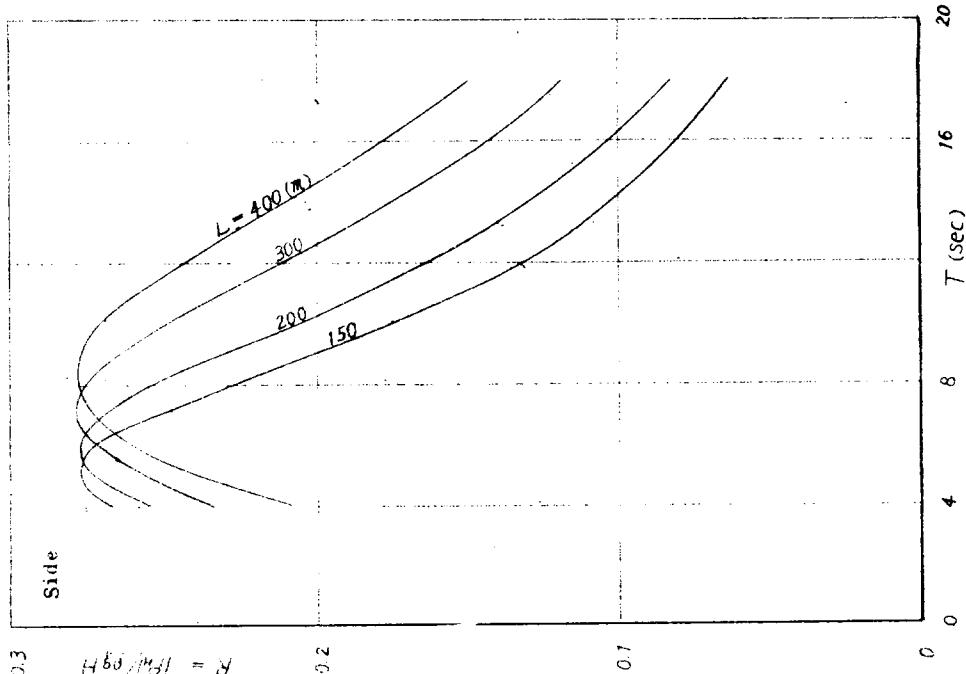
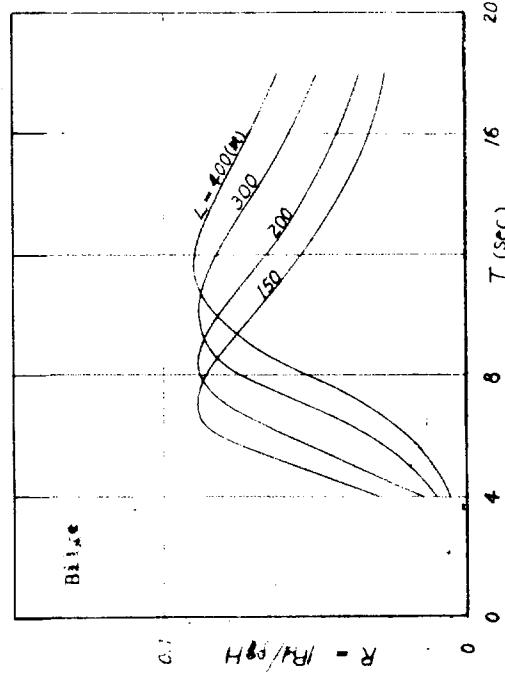


Fig. 9 6



STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$   
 $Fr = 0.15$

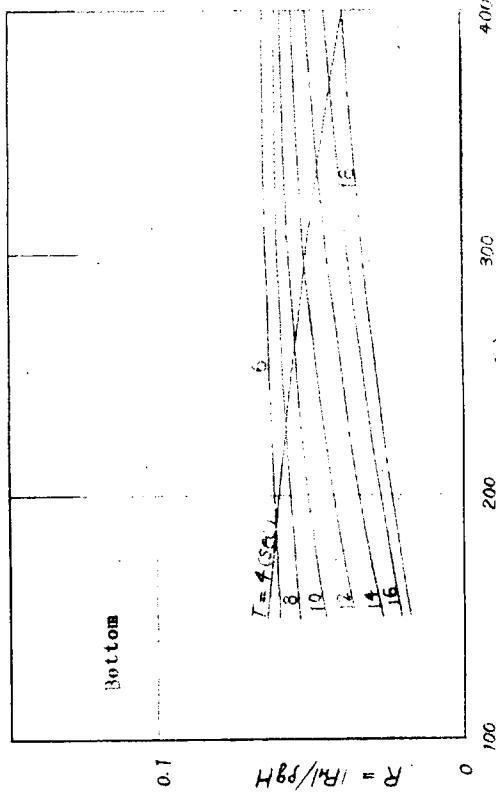


Fig. 98

- 66 -

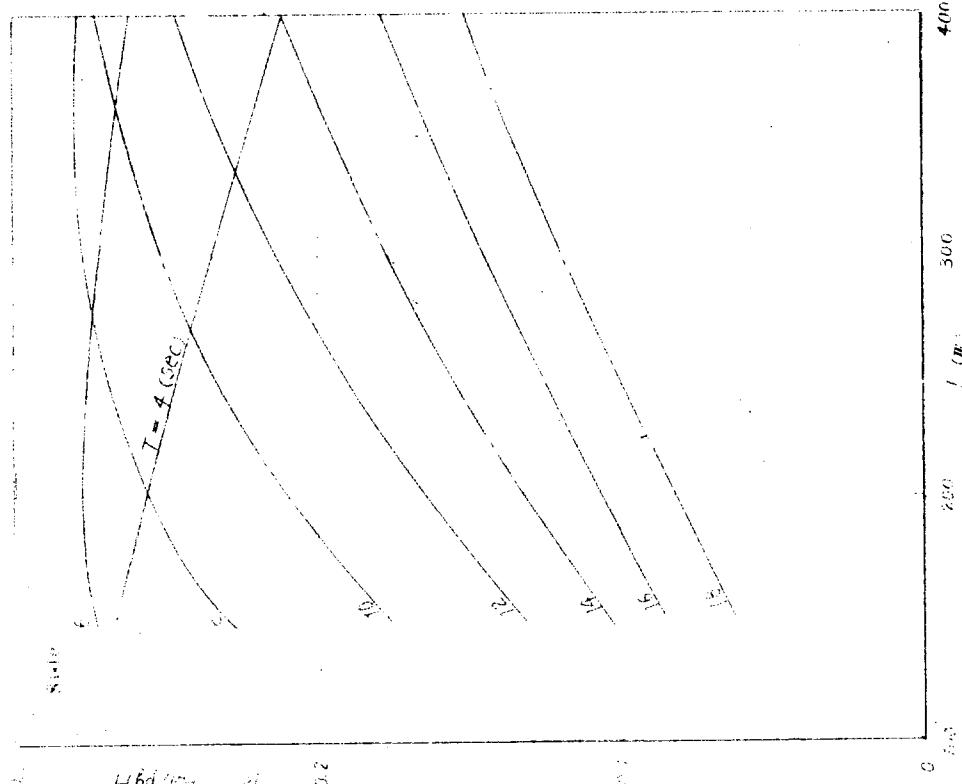


Fig. 100

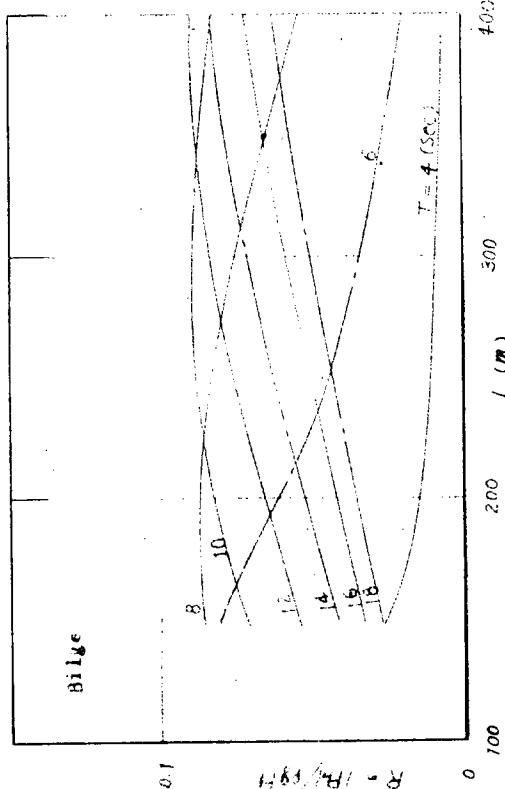


Fig. 99

STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$   
 $Pr = 0.15$

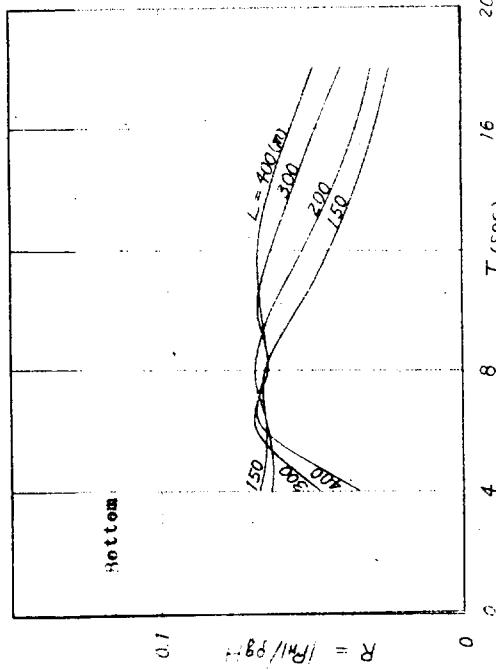


Fig. 101

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

Fig. 101

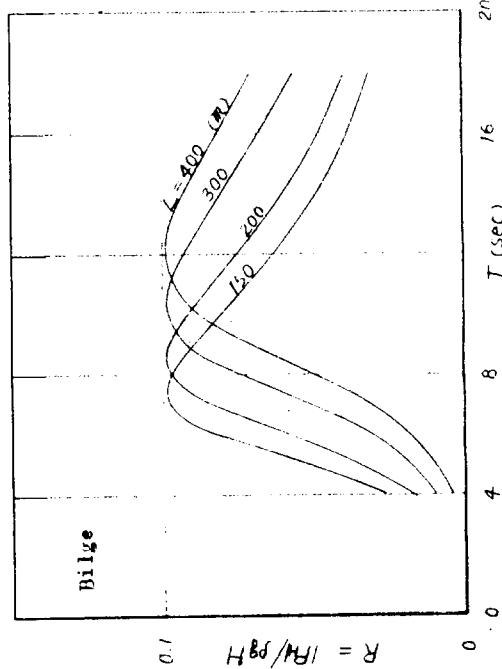


Fig. 102

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

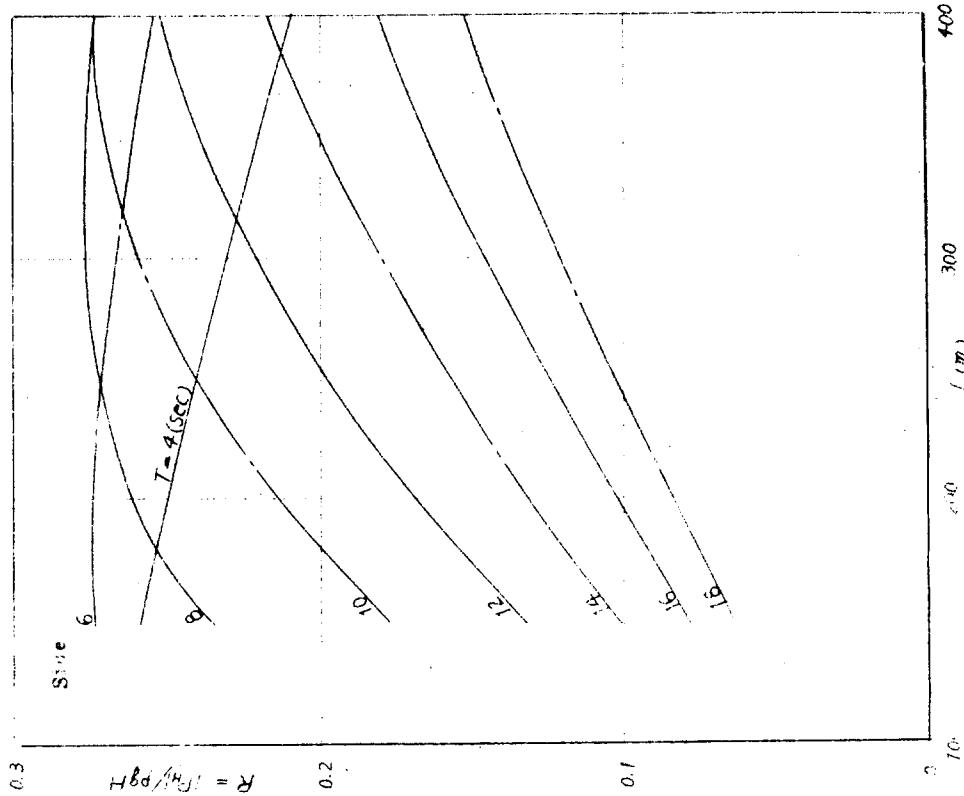
$$R = \sigma_R/\sigma_H$$

STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$

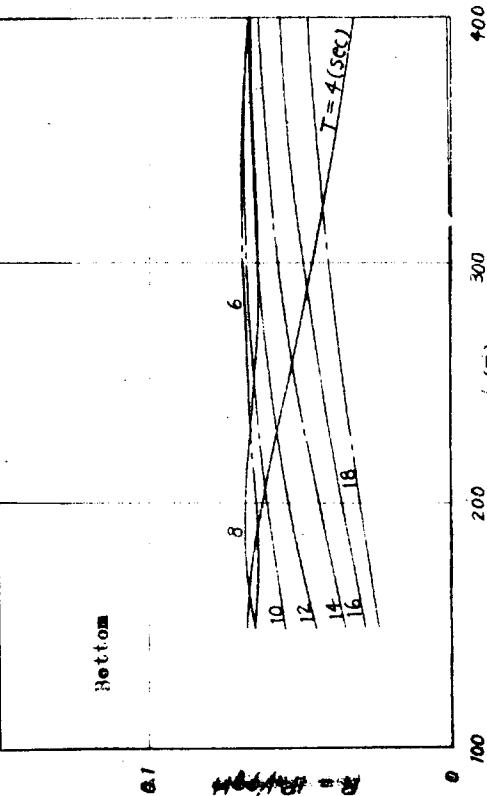
$Fr = 0.1$

Fig. 106



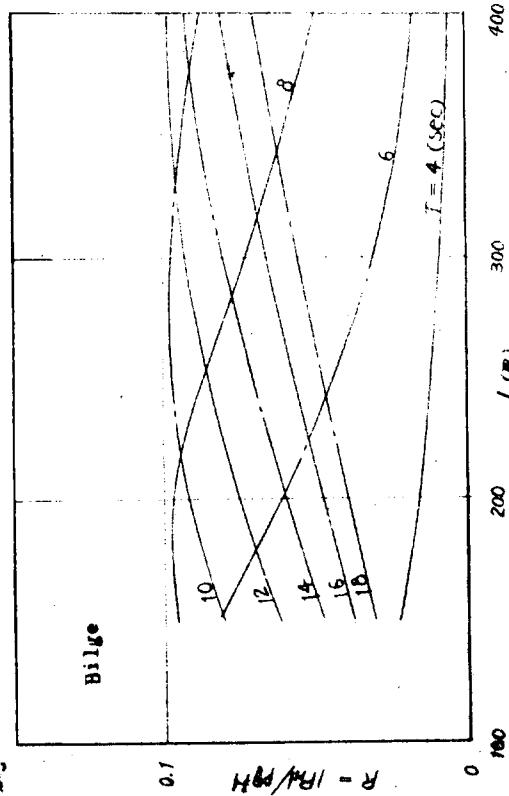
Bottom

Fig. 104



Bilge

Fig. 105



STANDARD DEVIATIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

( IN LONG CRESTED IRREGULAR WAVES )

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$

$Fr = 0.2$

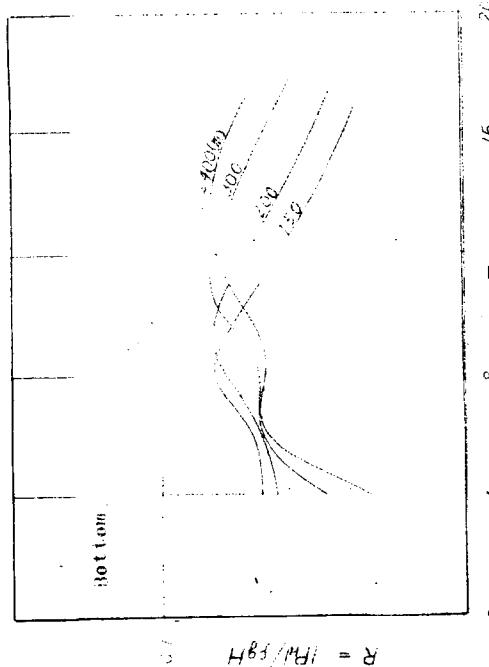


Fig. 107

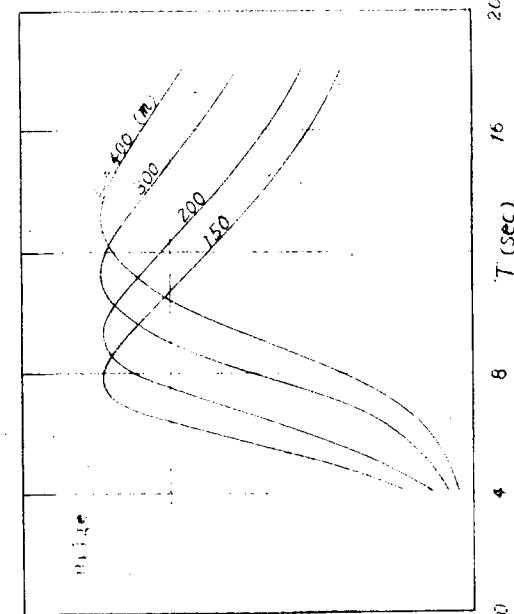


Fig. 108

Fig. 109

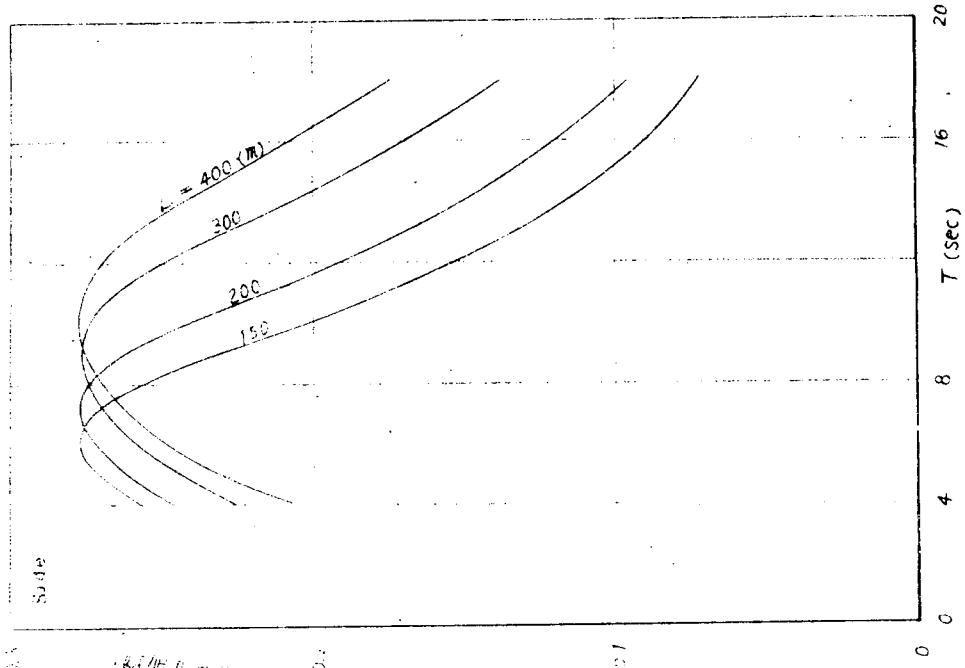
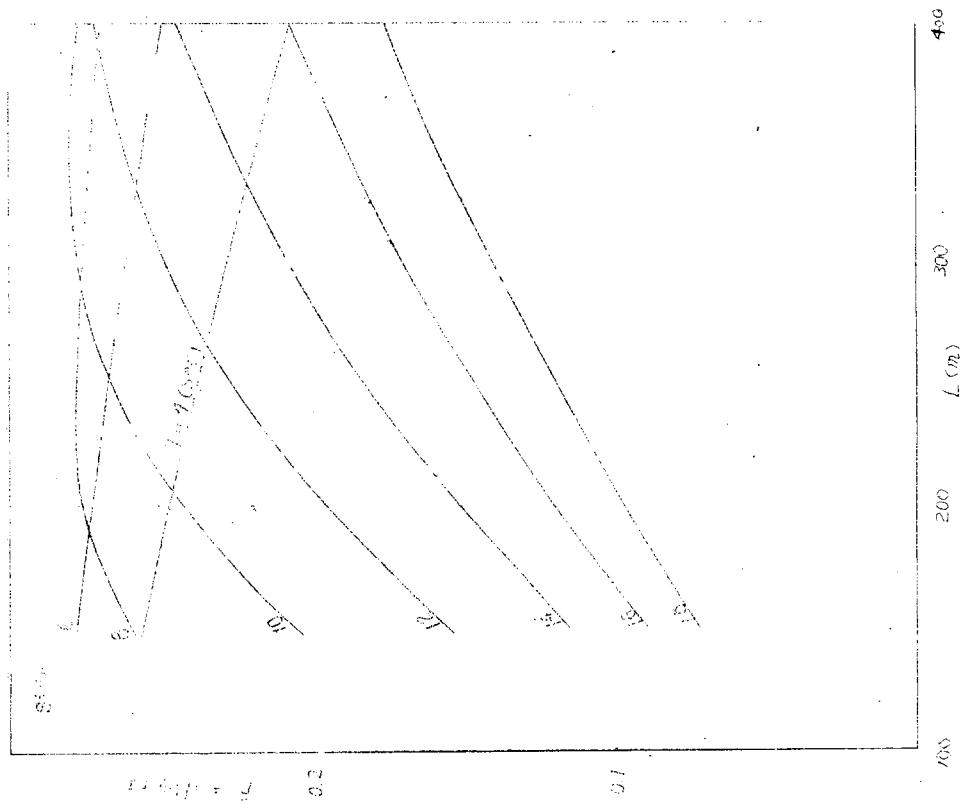


Fig. 112

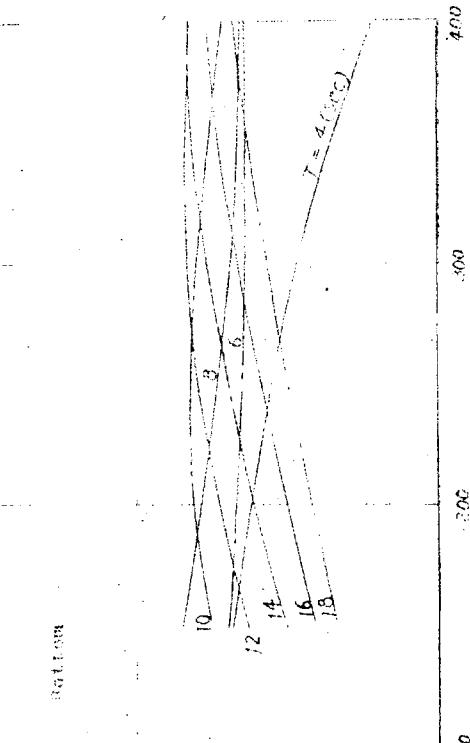


Rotation

$$R = \frac{I_{\text{H}}}{I_{\text{H}} + I_{\text{P}}} = \frac{I_{\text{H}}}{I_{\text{H}} + I_{\text{P}} + I_{\text{D}}}$$

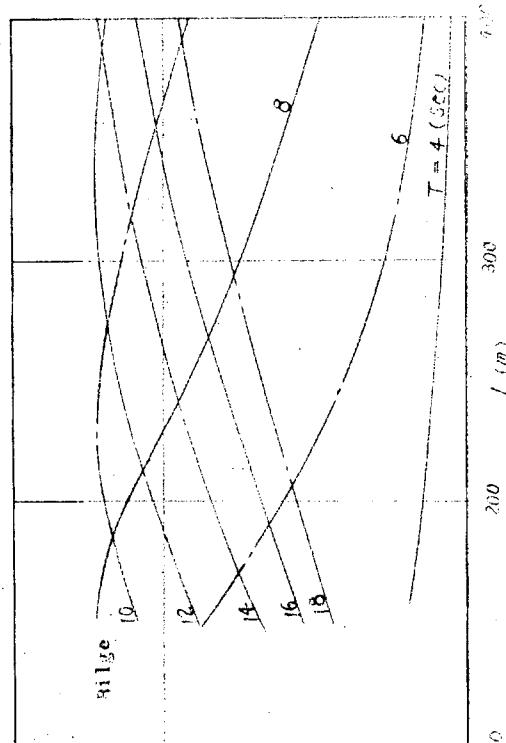
Fig. 110

- 70 -



$$R = \frac{I_{\text{H}}}{I_{\text{H}} + I_{\text{P}} + I_{\text{D}}}$$

Fig. 111



LONG-TERM DISTRIBUTIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE  
( IN THE NORTH ATLANTIC )

TANKER :  $L/b = 6.0$  ,  $C_b = 0.80$   
 $Fr = 0.1$

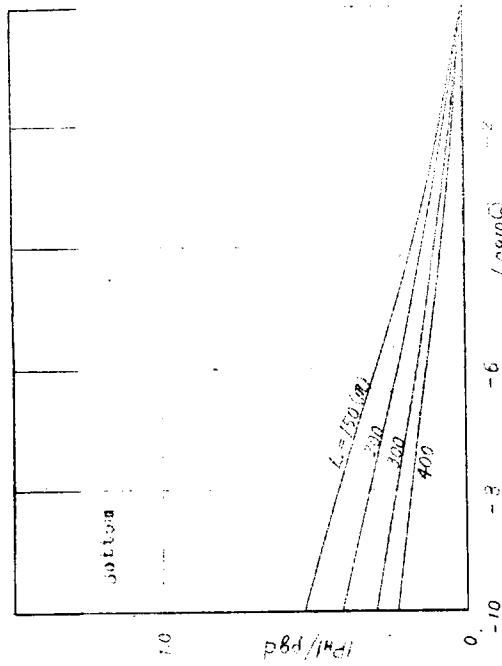
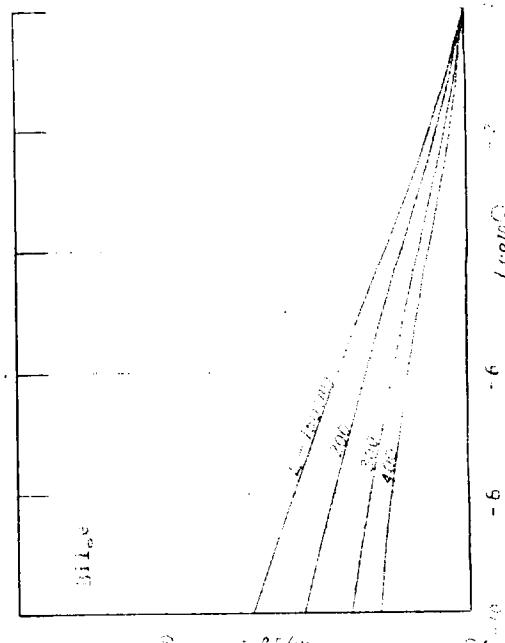
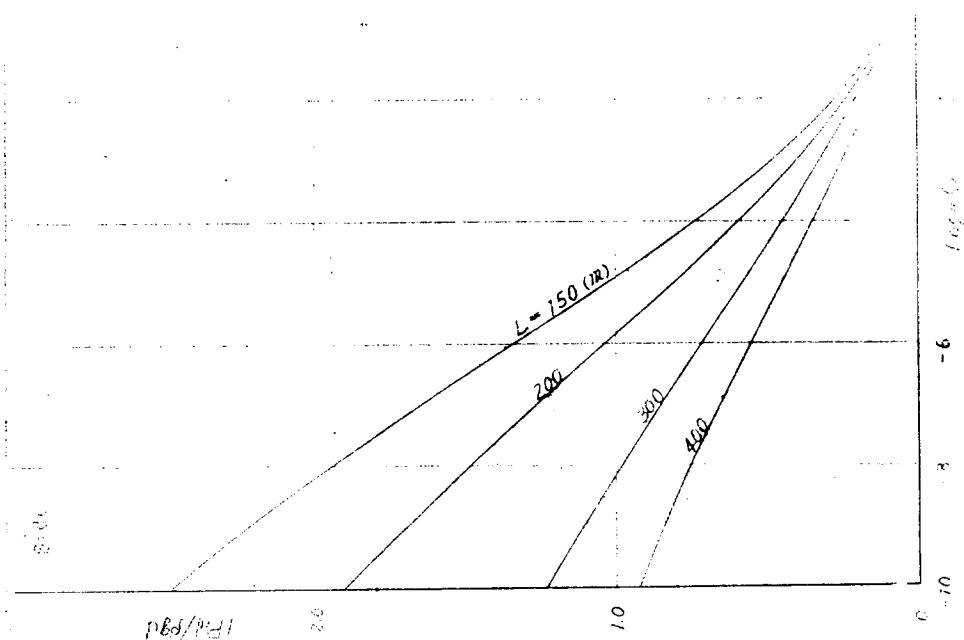


Fig. 115



LONG-TERM DISTRIBUTIONS OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

( IN THE NORTH ATLANTIC )

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $C_b = 0.80$   
 $Fr = 0.15$

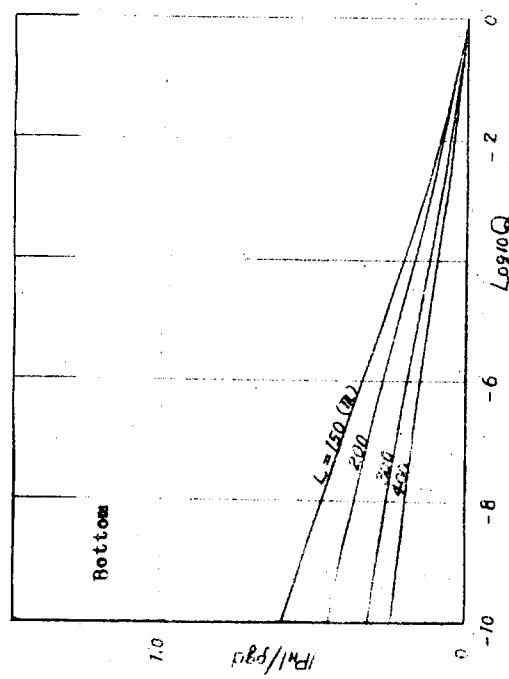


Fig. 116

- 72 -

Fig. 118

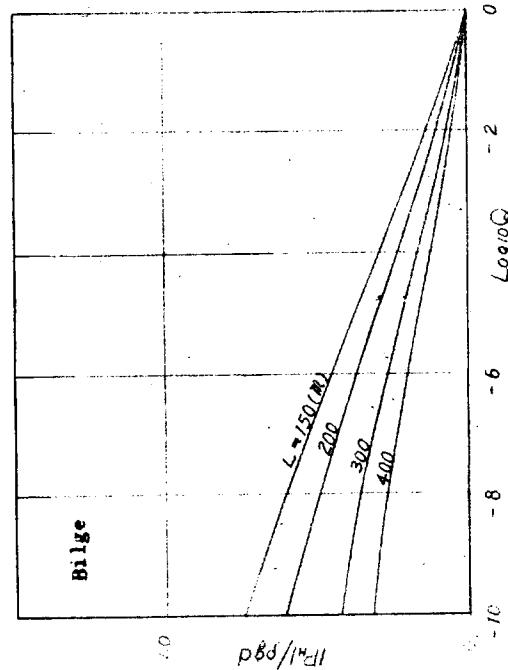
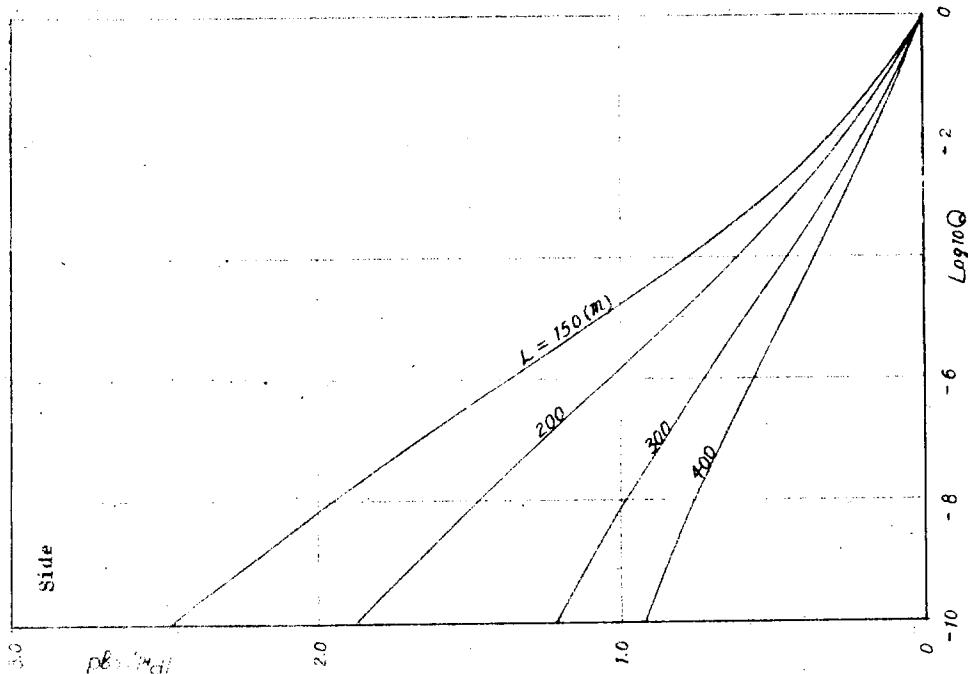


Fig. 117

LONG-TERM DISTRIBUTION OF HYDRODYNAMIC PRESSURE

( IN THE NORTH ATLANTIC )

TANKER :  $L/B = 6.0$ ,  $c_b = 0.80$   
 $Fr = 0.2$

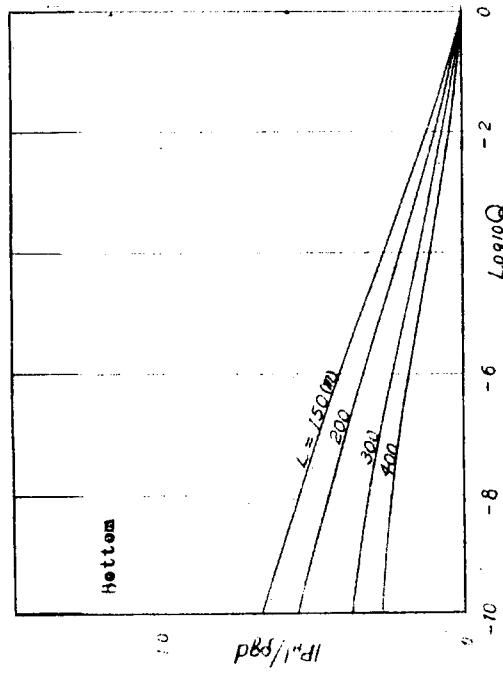


Fig. 119

- 73 -

Fig. 121

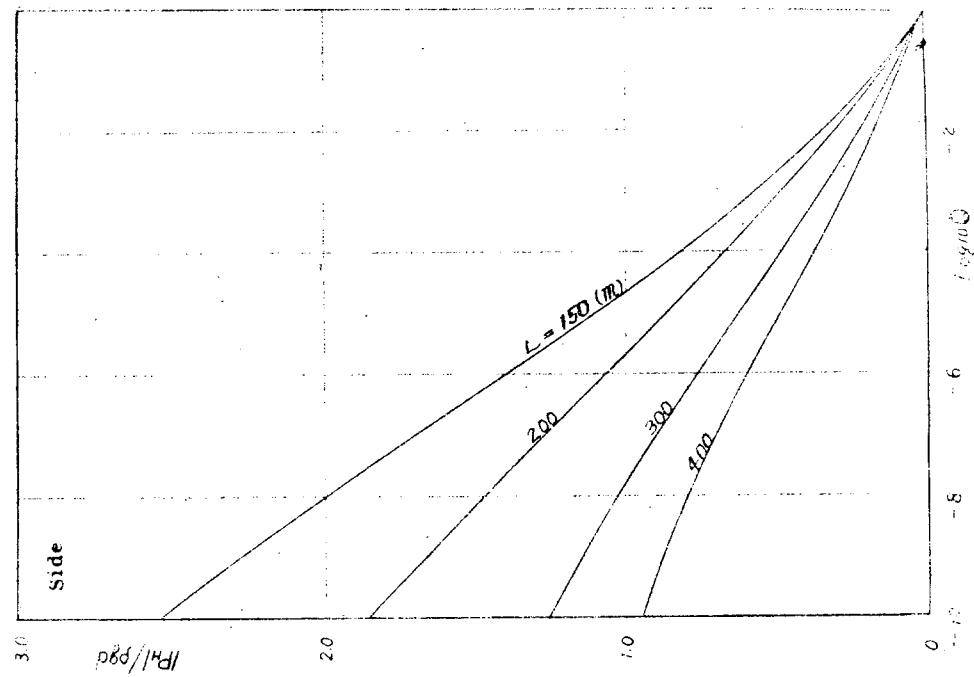


Fig. 120

## 6. 船体断面係数の検討

### 6.1 まえがき

船体縦強度部材の設計に当たつては、その部材あるいはそれに隣接する部材に直接加わる荷重による応力以外に船体の縦曲げによる応力を考慮しなければならないが、後者の応力値を左右するのは船体の断面係数と縦曲げモーメントである。この場合、縦曲げによる応力の最大値を各船について一定にしなければならないという構造力学的根拠はないと思われるが、現時点では、各船について縦曲げ応力の最大値がほぼ一定となるように船体断面係数を決定するのが一般のようである。

現在の各船級協会の縦強度規定では、静水中の縦曲げモーメントがある程度以下の船については、静水中の縦曲げモーメントとは無関係に、各船級協会が想定している波浪曲げモーメントに比例した断面係数を最小断面係数として定め、静水中曲げモーメントが或る程度より大きい船については静水中曲げモーメントを加味した断面係数を定めているものが多い。このような断面係数の決定法の合理性については今後なお検討の余地があるものと考えられるが、本章では本部会の研究成果の一つである統計的波浪曲げモーメントをこのような断面係数決定法に採り入れるとすれば、統計的波浪曲げモーメントのどの値を使用するのが適当であるかについて検討することとした。

### 6.2 船級協会のタンカーの最小断面係数の平均的な値と本部会の波浪曲げモーメントとの関係

各船級協会規則のタンカーの船底に対する最小断面係数をTable 14に示してある。

Table 14  $Z_B \text{ min.} \times 10^{-5} / B \cdot C_b \quad (\text{cm}^3 / \text{m})$

$C_b$	$L (m)$	100	150	200	250	300	350	400
0.8	AB	1.73	4.31	8.48	14.01	20.16		
	BV	1.73	4.31	8.43	14.30	22.14		
	GL	1.63	4.19	8.20	13.81	21.12	28.75	37.55
	LR	1.77	4.29	8.27	13.90	20.59	28.02	36.10
	NV	1.71	4.32	8.36	13.90	20.45	27.83	36.35
	RI	1.77	4.25	8.22	13.82	21.05		
平均		1.73	4.28	8.33	13.96	20.92	28.20	36.84
$Z_B \text{ min.} : \text{船底に対する最小断面係数}$								

第1表の平均の断面係数を持つ船体の船底の応力値が $17 \text{ kg/cm}^2$ ,  $16 \text{ kg/cm}^2$ ,  $15 \text{ kg/cm}^2$ 及び $14 \text{ kg/cm}^2$ となる曲げモーメントの値 $M_{min}$ をTable 15に示す。

Table 15  $M_{min}/B \cdot C_b$ 

$L(m)$	150	200	250	300	350	400
$\frac{Z \times 10^{-5}}{\sigma (kg/cm^2)} (m)$	4.28	8.33	13.96	20.92	28.20	36.84
1.7	7276	14161	23732	35564	47940	62628
1.6	6848	13328	22336	33472	45120	58944
1.5	6420	12495	20940	31380	42300	55260
1.4	5992	11662	19544	29288	39480	51576

船級協会の最小断面係数に対応する許容静水中曲げモーメント ( $M_s$ ) の平均の値 Table 15 に示す。

Table 16 許容静水中曲げモーメントの平均の値

$L(m)$	150	200	250	300	350	400
$M_s/B \cdot C_b$	2410	4728	7997	12180	17360	23230

第2表及び第3表から、船級協会の最小断面係数の平均値に対応する波浪曲げモーメント  $M_w$  の値は、応力値に応じて Table 17 のようになる。

Table 17  $M_w/B \cdot C_b$ 

$\sigma (kg/cm^2)$	$L(m)$	150	200	250	300	350	400
1.7	48.66	94.33	157.35	233.82	305.76	393.96	
1.6	44.38	86.00	143.39	212.90	277.56	357.12	
1.5	40.10	77.67	129.43	191.98	249.36	320.28	
1.4	35.82	69.34	115.47	171.06	221.16	283.44	

本部会の研究報告から、Table 4 曲げモーメント以上の波浪曲げモーメントが生ずる確率  $Q$  の対数を、 $C_b = 0.8$ 、フルード数 0.15、 $L/B$  が 6.0 の場合について求めると Table 18 の値が得られる。

Table 18 Table 4 の曲げモーメントに対応する  $\log Q$  の値

( $C_b = 0.8$ 、フルード数 0.15、 $L/B = 6.0$ )

$\sigma (kg/cm^2)$	$L(m)$	150	200	250	300	400
1.7	-6.54	-6.60	-7.00	-7.15	-6.95	
1.6	-5.95	-6.12	-6.40	-6.55	-6.35	
1.5	-5.40	-5.52	-5.80	-5.95	-5.75	
1.4	-4.87	-4.98	-5.24	-5.35	-5.22	

本部会の波浪曲げモーメントは、サギングモーメントとホギングモーメントとの平均の値を与えていると考えられる。実船実験あるいは模型試験の結果は、サギングモーメントとホギングモーメントとは同一の値ではないことを示している。その数例を Table 19 から Table 21 に示す。これらの例の値及び船級協会規則などを勘案するとホギングモーメ

シトとサギングモーメントとの比の値として0.80前後の値を考えればよいと思われる。

Table 19 Hogging, Sagging応力の計測値 (1)

N	隅田丸		SR49		山隆丸		隅田丸	SR49	山隆丸	平均
	Hog. $(kg/cm^2)$	Sag. $(kg/cm^2)$	Hog. $(kg/cm^2)$	Sag. $(kg/cm^2)$	Hog. $(kg/cm^2)$	Sag. $(kg/cm^2)$	Hog/Sag	Hog/Sag	Hog/Sag	Hog/Sag
1	3.2	6.5	5.2	8.0	3.8	6.4	0.49	0.65	0.59	0.58
10	2.6	5.2	4.6	6.7	3.3	5.2	0.50	0.69	0.64	0.61
10 <sup>2</sup>	2.3	4.0	3.85	5.3	2.6	4.0	0.58	0.73	0.65	0.65
10 <sup>3</sup>	1.8	2.8	3.1	3.7	2.0	3.0	0.64	0.84	0.67	0.72
10 <sup>4</sup>	1.2	1.6	2.3	2.4	1.3	1.6	0.75	0.96	0.81	0.84

註 NはStress frequency densityで、N=1に対応する応力は計測された最大応力を示している。

Table 20 Hogging, Sagging応力の計測値(2)

(Ocean Vulcan の実験値)

$\bar{h}/L$	Hog.	Sag.	$Hog/Sag$
0.01	0.26	0.26	1.00
0.02	0.477	0.547	0.87
0.03	0.674	0.837	0.81
平均			0.89

註  $\bar{h}$ は計測時の半波高、Lは船の長さ

Table 21 Hogging, Sagging応力の計測値(3)

(Doe's の模型実験)

$C_b$	0.80			0.70			0.60		
	Sag.	Hog.	Hog/Sag	Sag.	Hog.	Hog/Sag	Sag.	Hog.	Hog/Sag
0	8.6	7.9	0.92	7.7	5.5	0.71	9.5	7.6	0.80
0.15	12.0	7.0	0.58	8.6	5.5	0.64	10.0	4.5	0.45
0.20	11.3	9.8	0.87	10.3	5.3	0.52	9.4	8.8	0.94
0.25	10.9	7.2	0.66	10.9	7.5	0.69	8.5	12.0	1.41

註 Fr. (フルート数) 0から0.20までのHog./Sag.の平均の値は約0.71である。

タンカーの最小断面係数は一般にサギングモーメントをベースに考えているから、サギングの波浪曲げモーメントを考えることとし、その値を前記のことから平均の波浪曲げモーメントの1.1倍になると仮定すると、Table 4の波浪曲げモーメントをサギングモーメントの値とするととき、これに対応する平均の波浪曲げモーメントは、Table 4の値の1/1.1になる。この曲げモーメントの値に対応する  $\log Q$  の値は、本部会の研究結果から Table 22 のようになる。

Table 22 平均の波浪曲げモーメントに対する  $\log Q$  の値

$L(m)$ $\sigma(Kg/cm^2)$	150	200	250	300	400
1.7	-5.90	-6.0	-6.30	-6.50	-6.30
1.6	-5.40	-5.55	-5.80	-5.95	-5.80
1.5	-4.90	-5.05	-5.30	-5.40	-5.30
1.4	-4.40	-4.55	-4.80	-4.90	-4.80

Table 22より、許容応力を  $L$  が  $150m \sim 200m$  の船について  $1.5Kg/cm^2$  程度とし、現在の船級協会の要求している最小断面係数に近い断面係数とするためには本部会の波浪曲げモーメントで  $\log Q = -5 \cdot C$  に相当する曲げモーメントを用いればよいことが判る。

### 6.3 所要断面係数（その1）

サギングの波浪曲げモーメントとして、本部会の波浪曲げモーメント（長波頂、不規則波中）の  $\log Q = -5.0$  に対応する値の 1.1 倍を考え、許容応力を  $1.5Kg/cm^2$  とした場合の所要断面係数。この場合、静水中曲げモーメントを波浪曲げモーメントの 0.6 倍とし、断面係数は、波浪曲げモーメントと静水中曲げモーメントの和、即ち波浪曲げモーメントの 1.6 倍を許容応力で除した値として計算してある。

この計算による所要断面係数  $Z$  を  $B \cdot C_b \cdot 10^5$  で除した値を Table 23 に示す。

Table 23

$L(m)$	150	200	250	300	400
本部会の $M_w^{x10^5} / LB$	8.75	6.95	5.60	4.68	3.35
$M_{wsag} / B \cdot C_b$	4060	7645	12030	17380	29480
$1.6 M_{wsag} / B \cdot C_b$	6496	12230	19250	27810	47170
$Z / B \cdot C_b \cdot 10^5$	4.33	8.15	12.83	18.54	31.45
船級協会の $\frac{Z_{min}}{B \cdot C_b \cdot 10^5}$	4.28	8.33	13.96	20.92	36.84

(  $C_b = 0.8$  )

註：  $M_w$  :  $\log Q = -5.0$  に対応する長波頂不規則波中の波浪曲げモーメント ( $m-t$ )

$M_{wsag}$  :  $M_w$  の 1.1 倍 ( $m-t$ )

$Z$  : 所要断面係数 ( $cm^2$ )

上記の計算で、静水中曲げモーメントを、船級協会の最小断面係数に対する許容静水中曲げモーメントと等しくすれば所要断面係数は Table 24 のようになる。

Table 24

$L(m)$	150	200	250	300	400
$Z/B \cdot C_b \cdot 10^5$	4.31	8.25	13.35	19.71	35.14
船級協会の $\frac{Z_{min}}{B \cdot C_b \cdot 10^5}$	4.28	8.33	13.96	20.92	36.84
$Z/Z_{min}$	1.012	0.990	0.956	0.942	0.954

#### 6.4 所要断面係数（その2）

6.3の計算で許容応力を  $(16.5 - \frac{9L}{1000}) \text{kg/cm}^2$  とした場合の所要断面係数を Table 25 に示す。

Table 25

$L(m)$	150	200	250	300	400
$\sigma(\text{kg/cm}^2)$	15.15	14.70	14.25	13.80	12.90
$Z/B \cdot C_b \cdot 10^5$	4.29	8.32	13.51	20.15	36.56
船級協会の $\frac{Z_{min}}{B \cdot C_b \cdot 10^5}$	4.28	8.33	13.96	20.92	36.84

註：  $\sigma$  許容応力

$Z$  所要断面係数( $\text{cm}^2$ )

#### 6.5 結論

各船級協会の現在の縦強度規定で要求される船体断面係数と同程度の断面係数を得ようとする場合は、本部会の統計的波浪曲げモーメントで、長波頂、不規則波中で  $\log Q$  が -5.0 に相当する波浪曲げモーメントを考え、波浪曲げモーメントと静水中曲げモーメントの和に対して許容応力を  $15 \text{kg/cm}^2$  とすればよい。ただし、静水中曲げモーメントの小さい船に対しては疲労を考慮した許容応力による断面係数を別に定めるが、現在の多くの船級協会規則に見られるように最小断面係数を規制する必要があるであろう。

なお、本部会の目的が波浪曲げモーメントの解明を主としたものであるため、断面係数の決定法については簡単に扱つたが、船の設計上船体断面係数をどのように定めるかは重要な問題であり、今後研究を進める必要があるであろう。

なお、本部会に提出された“船体の縦曲げモーメントに対する疲労強度の検討”を APPENDIX 3 として添付する。

## APPENDIX 1 NK Rulesの波浪曲げモーメントと 図中に示される“ $H_e$ by NK Rules”について

〔関西造船協会ルール検討委員会報告 第1報 各国船級協会の縦強度規則について〕より抜粋

### 4.1 各規則が考えている波浪および波浪縦曲げモーメント

#### (1) NK

NKの波浪研究委員会では、船体の波浪による縦曲げモーメントの累積エネルギー密度が船が遭遇すると予想されるすべての海面状態を考えた場合の1/100最大平均値に等しいような海面状態において100回に1回起くる曲げモーメントの最大期待値を与える。近似算式を考えているNKの縦強度基準を考える際の波浪縦曲げモーメントは上記の曲げモーメントの累積エネルギー密度が最大となる海面状態や100回に1回の最大期待値より大きい曲げモーメントの予想および荒天中の船速なども考慮して、上記近似計算式の50%増して、さらに $L < 150$  mの船の実績との照合および $L > 250$  mの船に対する修正なども加味して次のように与えている。<sup>(3)</sup>

ホギングに対して、

$$\begin{aligned} M_w \text{ hog} &= 2.20 L^{2.5} B (1.5 C_b - 0.4) \times 10^{-3} t-m \dots \dots \quad L \leq 150 \text{ m} \quad (1-1) \\ &= 5.05 L^{1.5} B (1.5 C_b - 0.4) \times 10^{-3} \quad \dots \dots 150 \text{ m} < L \leq 250 \text{ m} \\ &= 8.02 L^{1.4} B (1.5 C_b - 0.4) \times 10^{-3} \quad \dots \dots 250 \text{ m} < L \leq 300 \text{ m} \\ &= 3.34 L^2 B (1.5 C_b - 0.4) \times 10^{-3} \quad \dots \dots 300 \text{ m} < L \end{aligned}$$

サギングに対して

$$M_w \text{ sag} = 1.075 M_w \text{ hog} \quad (1-2)$$

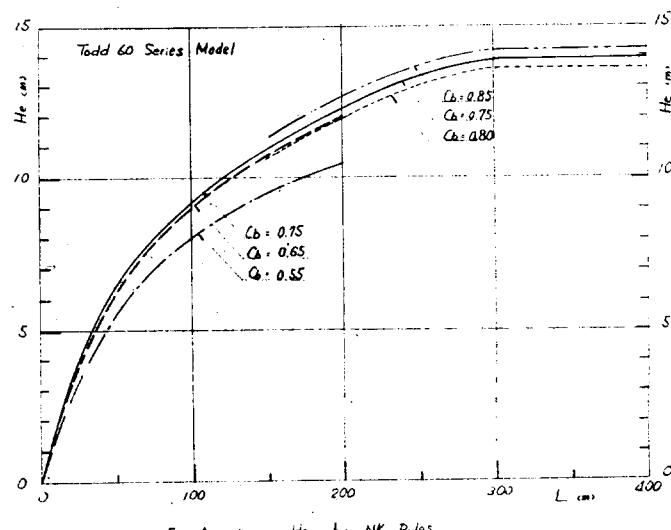
上記のNK Rulesが考えている波浪縦曲げモーメントとSR90研究部会が求めた波浪曲げモーメントとを42年度報告書P.69(1-5-1)に示される等価波高 $H_e$

$$H_e = \frac{M_w}{\rho g E B} \frac{L}{C_{He}} \quad (1-3)$$

で比較するために(1-3)の $M_w$ に(1-2)の $M_w \text{ sag}$ を代入して求めたのが図中に示す“ $H_e$  by NK Rules”であり、これを図示したのがFig. 1-1である。

なお、等価波高係数 $C_{He}$ をSR90研究部会が波浪曲げモーメントの計算に用いたTedd 60 seriesについて求めると下表を得る。

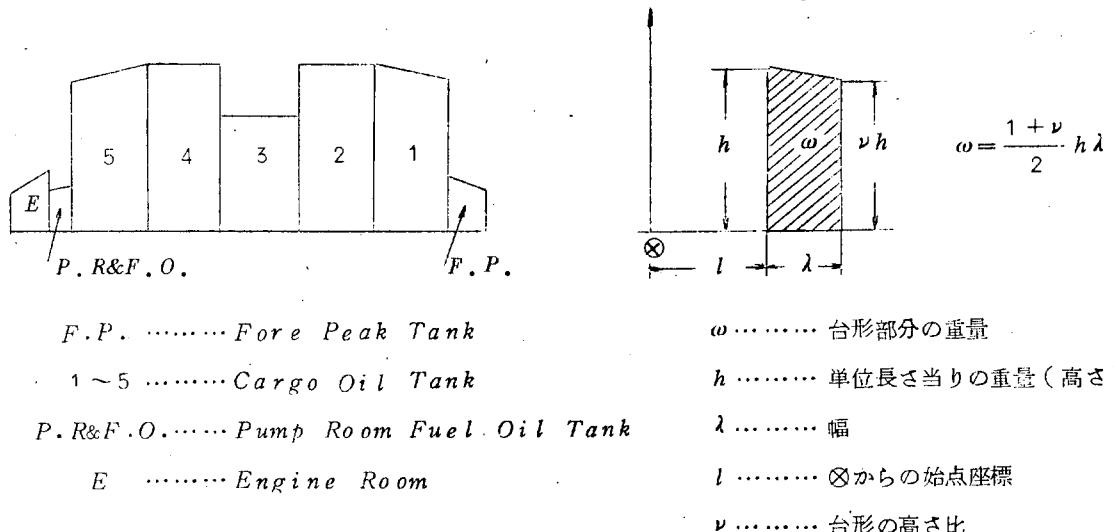
$C_b$	$C_w$	$C_{He}$
0.55	0.6702	0.011171
0.65	0.7468	0.01368
0.75	0.8291	0.01687
0.80	0.8774	0.01894
0.85	0.8995	0.01983



## APPENDIX 2. 台形近似による船体重量分布の逆算

既知の船体前半部、後半部の重量、重心、船体中央についての2次モーメントを満足するような重量分布を逆算する。

貨物船、油送船の貨物艤、荷油艤は Fig. 1-1 に示すように台形で組合せて近似することが出来る。



船体前半部、後半部について

$$\begin{array}{ll} \text{船体重量} & \cdots \cdots \cdots W \\ \text{船体中央まわりの二次モーメント・レバー} & \cdots \cdots \cdots K_{\otimes} \end{array}$$

⊗からの重心 ..... X

が与えられたものとする。

船体前半部、あるいは後半部の重量分布がNヶの台形から成っているとするとき次の関係が成立する。

$$\sum_{j=1}^N \frac{1+\nu_j}{2} h_j \lambda_j = W \quad \dots \dots \dots \quad (2-1)$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{1+\nu_j}{2} h_j \lambda_j \left( \frac{2\nu_j+1}{3(1+\nu_j)} \lambda_j + l_j \right) = WX \quad \text{但し} \quad l_j = \sum_{k=1}^{j-1} \lambda_k \quad \dots \dots \dots \quad (2-2)$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{h_j \lambda_j}{36} \left[ \frac{\nu_j^2 + 4\nu_j + 1}{1 + \nu_j} + \frac{1 + \nu_j}{2} h_j \lambda_j \left( \frac{2\nu_j+1}{3(1+\nu_j)} \lambda_j + l_j \right)^2 \right] = WK_{\otimes}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2-3)$$

2-2, 3 を書きなおして

$$\sum \frac{h_j \lambda_j}{\sigma} \left[ (2\nu_j+1) \lambda_j + 3(1+\nu_j) l_j \right] = WX \quad \dots \dots \dots \quad (2-2')$$

$$\sum \frac{h_j \lambda_j}{12} \left[ (3\nu_j+1) \lambda_j^2 + 4(2\nu_j+1) l_j \lambda_j + 6(\nu_j+1) l_j^2 \right] = WK_{\otimes}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2-3')$$

2-1, 2', 3' を連立方程式であらわすと、

$$\begin{pmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1N} \\ a_{21}, \dots, a_{2N} \\ a_{31}, \dots, a_{3N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W \\ WK_{\otimes} \\ WK_{\otimes}^2 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (2-4)$$

$$a_{1j} = \frac{1+\nu_j}{2} \lambda_j$$

$$a_{2j} = \frac{\lambda_j}{6} \left[ (2\nu_j+1) \lambda_j + 3(1+\nu_j) l_j \right]$$

$$a_{3j} = \frac{\lambda_j}{12} \left[ (3\nu_j+1) \lambda_j^2 + 4(2\nu_j+1) l_j \lambda_j + 6(\nu_j+1) l_j^2 \right]$$

$h_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) の内 3 パラメータ  $h_p, h_q, h_r$  を未知数として他の変数はデータとして与えると 2-4 は次の三元連立方程式となり  $h_p, h_q, h_r$  が求められる。

$$\begin{bmatrix} a_{1p} & a_{1q} & a_{1r} \\ a_{2p} & a_{2q} & a_{2r} \\ a_{3p} & a_{3q} & a_{3r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_p \\ h_q \\ h_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

ここで

$$A_i = W - \left[ \sum_{j=1}^{p-1} + \sum_{j=p+1}^{q-1} + \sum_{j=q+1}^{r-1} + \sum_{j=r+1}^N \right] a_{ij} h_i \quad \text{であり}$$

$$H_j = h_j \quad j = p, q, r$$

$$= 0 \quad j = p, q, r$$

$$U_i = W \quad i = 1$$

$$= W X \quad i = 2$$

$$= W K_{\otimes}^2 \quad i = 3$$

をもちいると

$$A_i = U_i - \sum_{j=1}^N a_{ij} H_j \quad (i = 1, 2, 3) \quad \text{と表わすことができる}$$

(2-5)を船体前半部、後半部について夫々解けば与えられた船体前半部、後半部の重量、重心、船体中央まわりの二次モーメント・レバーを満足する船体の重量分布が得られる。求められた重量分布の妥当性は実船のそれと比較して検討しなければならない。

P. 39 の Fig. 29, 30 の重量分布曲線は実船の重量分布曲線と比較して妥当であると認められたものである。

### APPENDIX 3 船体の縦曲げモーメントVCに対する疲労強度の検討

船体構造部材は静水中曲げ応力を基準として波浪曲げモーメントによる繰返し応力を受けている。ここでは、船体構造部材の中で船体中央部の上甲板に注目して、これが疲労強度上での程度の安全率をもつか、また波浪曲げ応力と静水中曲げ応力とがどの程度の比率で上甲板の疲労強度に影響を及ぼすかを近似的に検討した。

なお最近巨大船の上甲板に一部高張力鋼が使用されているが、ここでは上甲板は全て軟鋼で作られているものとする。

#### 3-1 上甲板における応力頻度分布

*Benet*は1ヶ月間の航海中の応力変動回数の実測から、変動回数は毎時600回であり、1年間の航海日数を150日とすると一隻の船が一生(20年間)の応力変動回数は $10^8$ 回であることを示している。従つて短波頂不規則海面で*All Headings*を考える時には、発現確率 $Q \geq 10^{-8}$ の範囲即ち波浪曲げモーメントの変動回数が $10^8$ 回の累積頻度分布を用いればよい。本部会では主として長波頂正面不規則海面での計算がなされている。一般に長波頂正面不規則海面中の波浪曲げモーメントは短波頂不規則海面における値より大きく、長波頂正面不規則海面での発現確率が $Q \geq 10^{-8}$ の範囲の累積頻度分布をそのままもちいることは出来ない。3章で述べたように短波頂不規則海面で*All Headings*を考える時の発現確率が $Q = 10^{-8}$ である波浪曲げモーメントの最大期待値が長波頂正面不規則海面では、発現確率が $Q = 10^{-7}$ での値にほぼ一致することをここでも利用して、長波頂正面不規則海面での累積頻度分布としては発現確率が $Q \geq 10^{-7}$ の範囲を考え波浪曲げモーメントの総変動回数を $10^7$ 回とする。

いま、Fig. 3-1-aを累積頻度分布とすると、 $\sigma_{i-1}$ の累積頻度 $N_{i-1}$ は $\sigma_{i-1}$ 以上の応力が発生する全回数を示し、 $\sigma_i$ の累積頻度 $N_i$ は $\sigma_i$ 以上の応力が発生する全回数を示している。従つて $N_{i-1} - N_i = n_i$ は $\sigma_{i-1}$ と $\sigma_i$ との間の応力の発生回数を示すのでこれを安全側に考えて $n_i$ は応力 $\sigma_i$ が発生する頻度と考える。

このような操作を、各応力レベル $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ に対して行なえばFig. 3-1に示すように各応力に対する頻度が求まり、頻度分布が決定される。この場合、応力間隔 $\Delta\sigma$ は小さくとるほど頻度分布の精度は上昇するが、ここでは便宜上 $\Delta\sigma = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ として頻度分布を求めた。

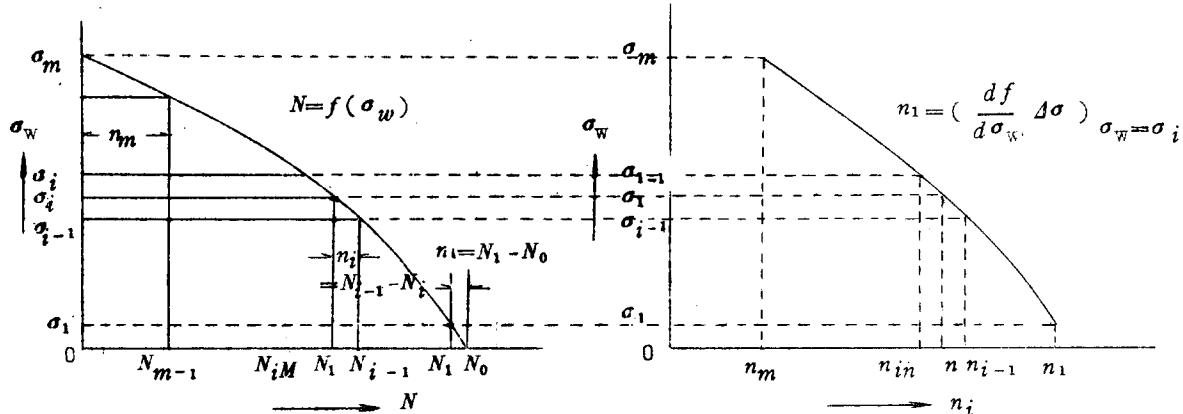


Fig. 3-1-a 累積頻度分布

Fig. 3-1-b 頻度分布

Fig. 3-2は貨物船の基準船型C70 65について短波頂不規則海面*All Headings*、長波頂正面不規則海面での波浪曲げモーメント、波浪曲げ応力の累積頻度曲線を図示し、同時に*Benet*の論文から引用した*Ocean Vulcan*の累積頻度を示す。Table 3-1に*Ocean Vulcan*とC70 65の主要目を示す。Fig. 3-3はFig. 3-2の累積頻度分布をもちいて、頻度分布を求め比較したものである。

長波頂正面不規則海面で発現確率が  $Q \geq 10^{-7}$

Table 3-1

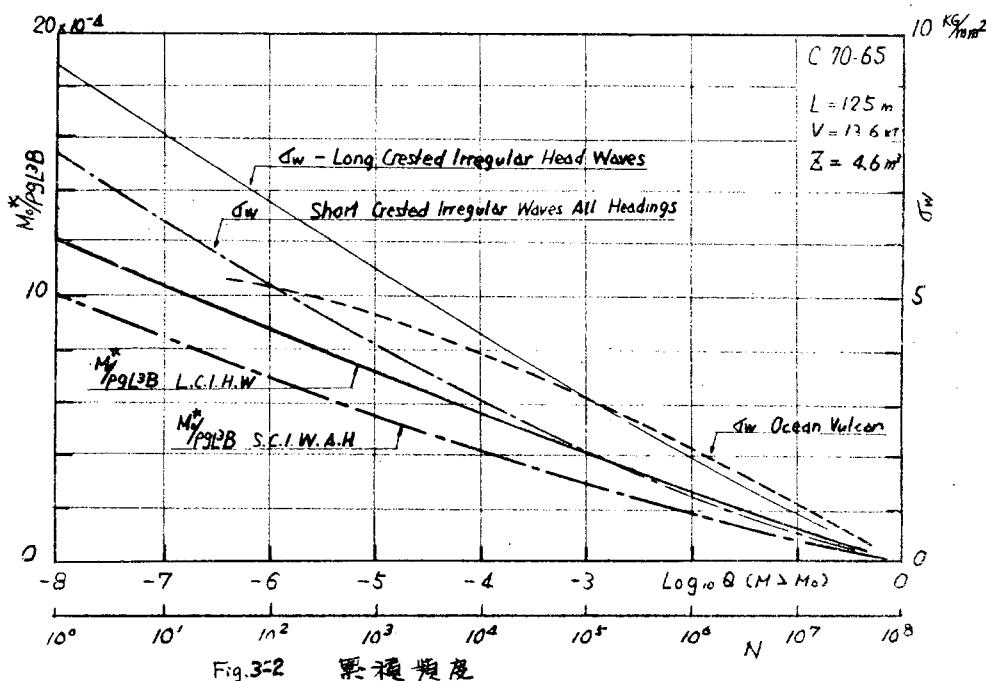
即ち波浪曲げモーメントの総変動回数を  $10^6$  回として求めた頻度分布(発現確率  $Q \geq 10^{-8}$ , 総変動回数  $10^6$  回として求めた頻度分布を横軸平行に 1 行左方向へずらしたもの)は、短波頂不規則海面で発現確率  $Q \geq 10^{-8}$  即ち総変動回数  $10^6$  回として求めた頻度分布とかなりよく一致している。また船型が若干異なる *Ocean Vulcan*, *Gopher Mariner* と比較しても妥当な頻度分布であると云える。

### 3-2 静水曲げ応力が 0 の場合の疲労被害

静水中で曲げ応力が存在しない場合の波浪曲げモーメントによる疲労被害を検討する。Fig. 3-4 は森口が求めた S.S. 4.1 材の平板の引張圧縮両振は荷重に対する  $S-N$  曲線と 3-1 で規定した短波頂不規則海面(総変動数  $N_T = 10^8$ ), 長波頂正面不規則海面(総変動数  $N_T = 10^7$ ,  $N_T = 10^8$ )での変動応力の片振幅の頻度分布との関係を示す。

図中、下方の 3 本の曲線が貨物船船型(*C 70-65*)について船長を  $125\text{m}$ , 船体中央部の断面係数を  $Z = 4.6\text{ m}^3$ (*Ocean Vulcan* の断面係数と同じ値)としたときの船体中央部上甲板の応力頻度曲線である。最大応力は  $10\text{ kg/mm}^2$  で材料の疲労限以下である。従つて構造が不連続あるいは切欠き等による応力集中がなければ疲労破壊は生じない。今仮りに船体の断面係数  $Z$  を減少させて  $2.5\text{ m}^3$  になつたと仮定する。即ち、応力頻度の形状はそのまままで、その絶対値が  $S$  倍に上昇したことになる。

疲労被害について今、仮に Palmgren-Miner の法則が成立つものとして、被害度  $D \equiv \sum n_i/N_i = 1.00$  のときに疲労破壊が生じると仮定する。ここで  $n_i$  はある繰返し応力  $\sigma_i$  の発生回数であり、 $N_i$  はその応力により疲労破壊が生じる迄の繰返し回数である。



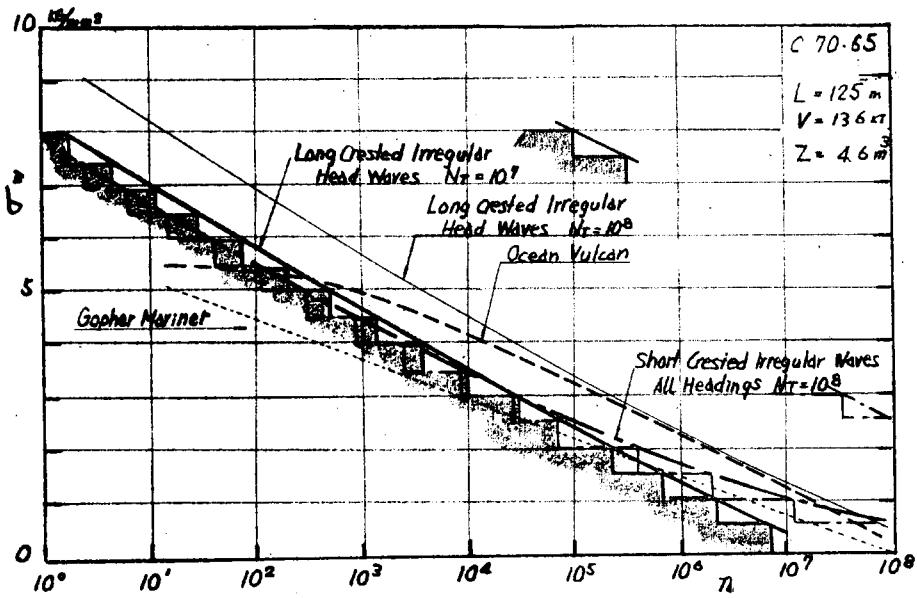


Fig. 3-3 頻度分布

そこで図示の  $S = 1, 2, 3, \dots, 7$  迄の各応力頻度曲線についての被害度  $D$  を求め、安全率  $S$  との関係を示したもののが Fig. 3-7 の  $\beta_0 = 0$  の曲線群である。短波頂不規則海面（総変動数  $N_T = 10^8$ ）での応力頻度曲線から求めた  $D-S$  カーブと長波頂正面不規則海面（総変動数  $N_T = 10^7$ ）での応力頻度曲線から求めた  $D-S$  カーブとがよい一致を示している。本船では  $S = 6$  で  $D = 1$  に達している。従つて不連続部の応力集中と、静水曲げ応力を考へない場合には、断面係数を  $\frac{1}{6}$  に減少しなければ、波浪曲げ応力による疲労破壊は生じることになる。換言すれば上記の条件のもとでは疲労強度上 6 倍の安全率をもつてゐることになる。

なお図中、参考として示す Ocean Vulcan についてのカーブは Benet の論文をもとに森口が求めたものである。

### 3-3 静水曲げ応力が存在する場合の疲労強度

船体は静水中で何がしかの縦曲げモーメントを持つているため、疲労被害を検討するに当つては、この静水曲げ応力を考慮しなければならない。従つて各種の平均応力を持つ場合の  $S-N$  曲線が必要となる。平均応力が疲労被害に及ぼす影響に関する実験データーは、森口、SR 63 研究部会に若干あるにすぎず、最近の巨大タンカーに多い静水曲げモーメントがサギング（平均応力が負）である場合については繰返し応力が比例限以下について西原が実験データーがあるにすぎない。

Fig. 3-5-a, 3-5-b は上記の実験データーを考慮して、応力集中係数 ( $\alpha = 1.0, 4.0$ ) を持つ S.S. 41 材の

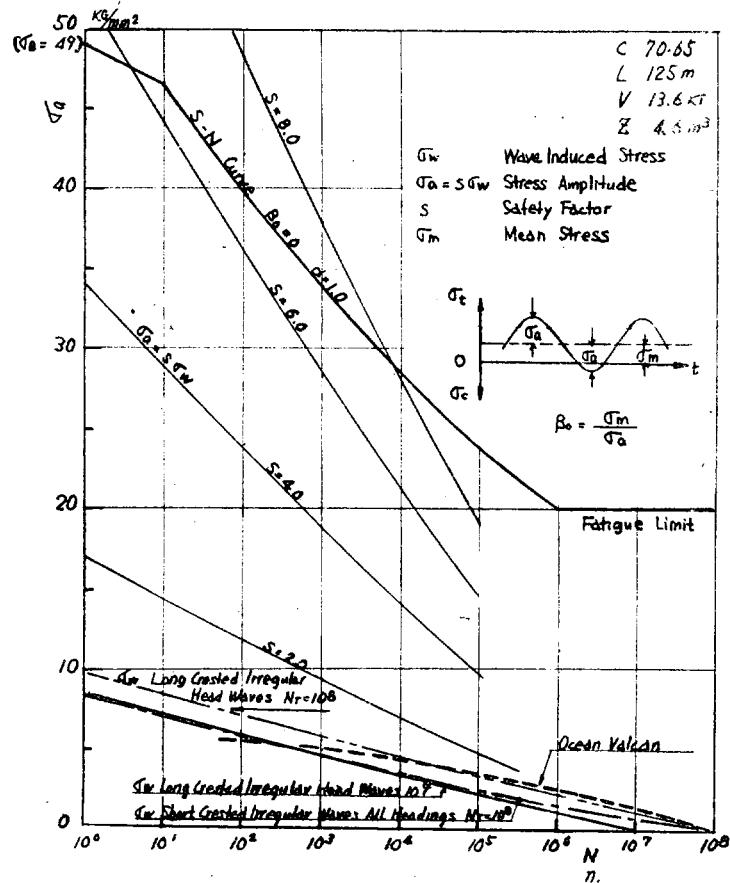


Fig. 3-4 SS 41 Plate ( $d=1.0$ ) の耐久限度と船舶船の波浪曲げ応力頻度

→ 2910 741

平均応力  $\sigma_m$  と応力振巾  $\sigma_a$  とそれらの組合せによる破壊迄の繰返し回数  $N$  との関係を示す曲線群である。

図中のパラメータ  $\beta$  は平均応力  $\sigma_m$  と応力振巾  $\sigma_a$  の比  $\sigma_m/\sigma_a$  を示す。

一方船体の波浪曲げ応力  $\sigma_w$  と静水曲げ応力  $\sigma_s$  との関係は Fig. 3-6 の  $(\sigma_s + \sigma_{w,i}) - n_i$  曲線で示され、

$\sigma_s$  は波浪に無関係に一定であるが  $\sigma_w$  は頻度分

布をする。従つて応力振巾  $\sigma_a = \sigma_w$  に対してそ  
の頻度  $n_i$  及び平均応力  $\sigma_m = \sigma_s$  と応力振巾の比  
 $\beta_i = \sigma_m/\sigma_a = \sigma_s/\sigma_w$  が決まり、S-N曲線か  
ら、この  $\sigma_a$ ・ $\beta_i$  に対応する時間  $N_i$  が求められ  
るので各  $\sigma_{w,i}$  に対する  $n_i/N_i$  が同図から求めら  
れれば被害度  $D$  が定められる。3-2 に示した C 70

65 船型について静水曲げ応力が存在する場合に  
ついて疲労被害度  $D$  と安全率  $S$  との関係を求めた  
のが前述 Fig. 3-7 である。図中、 $\beta_0$  は静水曲  
げ応力と船体を通じて経験する最大波浪曲げ応力  
の比を示す。

図からも知れるように、短波頂不規則海面で

All Headings 時の応力頻度曲線（総変動数  $10^8$ ）から求めた結果と長波頂正面不規則海面で総変動数を  $10^7$  回とした応力頻度曲線から得られた  $D-S$  カーブが極めて良い一致をしめしている。なおこの時の疲労強度は約 4 倍であることがわかる。

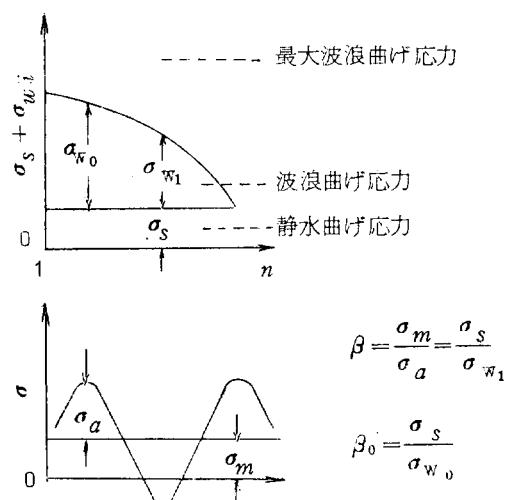


Fig. 3-6

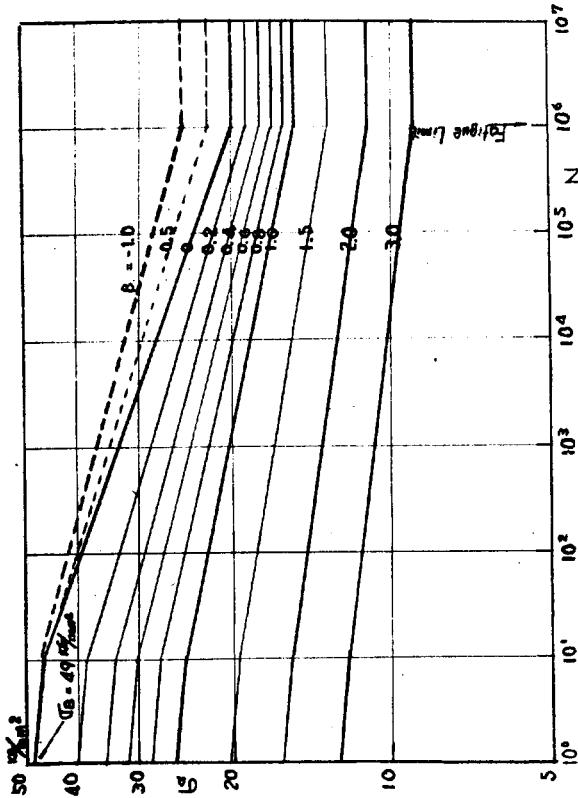


Fig. 3-8 SS 41 # (d=1.0) の SN 曲線

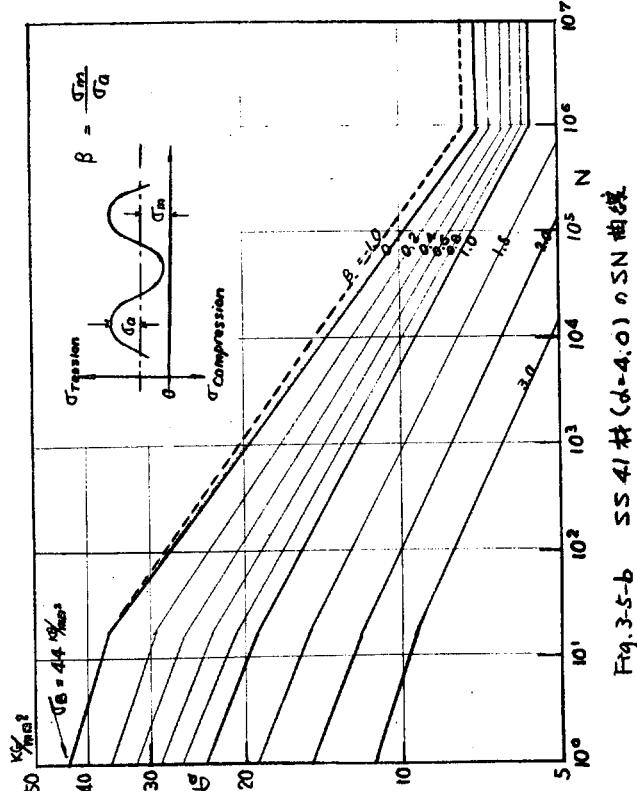


Fig. 3-5-b SS 41 # (d=1.0) の SN 曲線

Fig. 3-8 は短波頂不規則海面 (All Headings応力総変動 $10^8$ 回)について各応力レベルが疲労被害度 $n_i/N_i$ に及ぼす影響を検討したものである。図から知れるように静水曲げ応力が存在しない場合 ( $\beta_0 = 0$ ) 存在する場合 ( $\beta_0 = 0.559$ ) ともに高い応力レベルでの被害度が大きいことがわかる。従つて短波頂不規則海面 (All Headings)での発現確率 $Q \geq 10^{-8}$ の範囲の長期分布から総変動数を $10^8$ として求めた応力頻度分布曲線の代りに長波頂正面不規則海面での発現確率 $Q \geq 10^{-7}$ の範囲の長期分布から総変動数を $10^7$ として求めた応力頻度分布曲線を近似としてもちいてよいことが知られる。

なお、長波頂正面不規則海面で発現確率 $Q \geq 10^{-8}$ の範囲の長期分布から総変動数を $10^8$ として求めた応力頻度分布曲線をもちいれば、これは被害度 $D = Z^n i/N_i$ は上記の近似が約10倍となる。

以上は貨物船の基準船型C7065について $L = 125m$ ,  $Z = 4.6m$ ,  $V_s = 13.5KT$ の場合について云ふことである。

Fig. 3-9 は最近建造された20万トンクラスの油送船と同じ断面係数をもつた油送船の基準船型T6080について疲労強度を検討したものである。この船型は静水中でサグモーメントをもち平均応力が $-3.25 \text{ Kg/mm}^2$ である。船令を通じての最大波浪曲げ応力は上甲板で $\pm 11.2 \text{ Kg/mm}^2$ である。従つて最大応力値は上甲板で引張約 $8 \text{ Kg/mm}^2$ 、圧縮約 $14.5 \text{ Kg/mm}^2$ である。また構造の不連続部、切欠き等による応力集中がなければ疲労強度上約4倍の安全率をもつてゐることになる。

Table. 3-2

	実 船	T 6080
$L/B$	5.87	6.00
$B/d$	2.85	3.00
$C_b$	0.812	0.800
$L (m)$	298	300
$V (KT)$	16.2	15.81
$Z_{BUP}, DK (m)$	79.4	79.4
海 域		北大西洋

なお、油送船の場合にも長波頂正面不規則海面で発現確率  $Q = 10^6 \sim 10^{17}$  の範囲の長期分布から総度動数を  $10^7$  として求めた応力頻度分布曲線でもつて短波頂不規則海面 (All Headings 総度動数  $10^8$ ) の応力頻度分布曲線を近似できることが確認された。

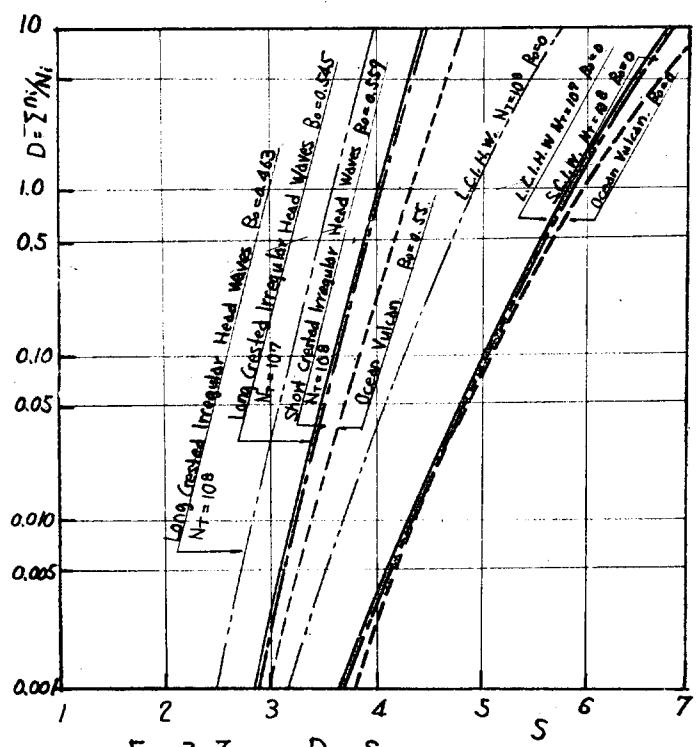


Fig. 3-7 D ~ S

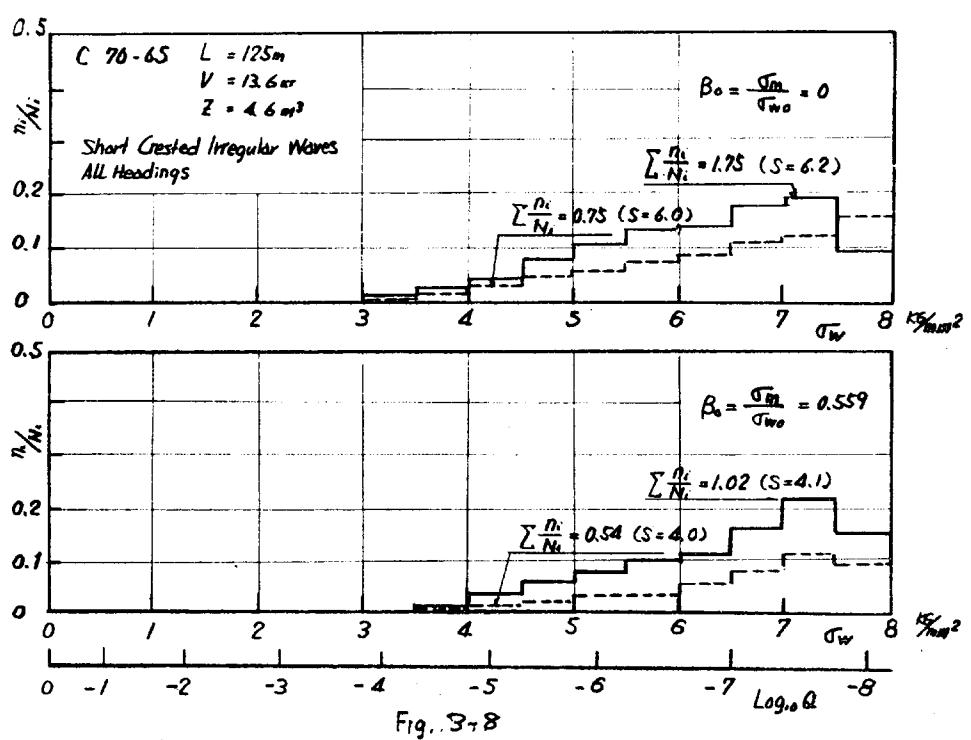
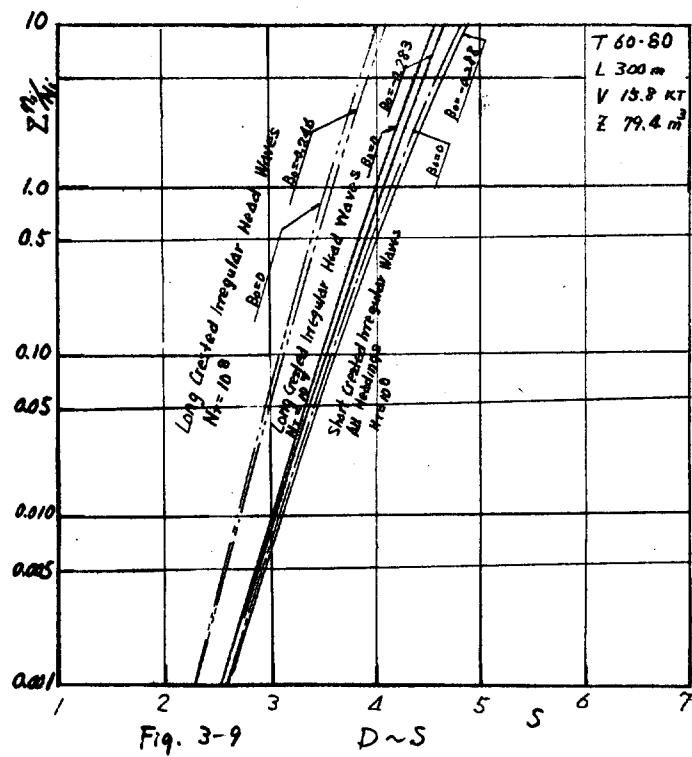


Fig. 3-8



### 3-4 波浪曲げ応力と静水曲げ応力との疲労被害に与える比重

以上の結果より波浪曲げ応力  $\sigma_w$  と静水曲げ応力  $\sigma_s$  とが、疲労被害に及ぼす影響を検討する。

疲労破壊が生じる被害度  $D = Z^n_i/N_i = 1.0$  の時には断面係数の倍率  $S$  と静水曲げ応力の大きさを示すパラメータ  $\beta_0$  の積  $S\beta_0$  の間には近似的に直線関係があることを森口は示している。

ここで

$$S = \frac{(\sigma_{w_0})_{s=1}}{(\sigma_{w_0})_{s=s}} \quad \beta_0 = \frac{(\sigma_s)_{s=1}}{(\sigma_{w_0})_{s=1}} = \frac{(\sigma_s)_{s=s}}{(\sigma_{w_0})_{s=s}}$$

$$S\beta_0 = \frac{(\sigma_s)_{s=s}}{(\sigma_{w_0})_{s=1}}$$

$$\text{従つて} \quad \frac{(\sigma_{w_0})_{s=s}}{(\sigma_{w_0})_{s=1}} + a \cdot \frac{(\sigma_s)_{s=s}}{(\sigma_{w_0})_{s=1}} = b \quad \dots \dots \dots \quad (3-1)$$

いま最大波浪曲げモーメントを  $M_{w_0}$  静水曲げモーメント  $M_s$  , 断面係数を  $Z$  とすると(1)は,

$$Z = \frac{1}{b(\sigma_{w_0})_{s=1}} [ (\sigma_{w_0})_{s=s} \cdot Z + a(\sigma_s)_{s=s} \cdot Z ]$$

$$= \frac{S}{b(\sigma_{w_0})_{s=1}} [ (\sigma_{w_0})_{s=1} \cdot Z + a(\sigma_s)_{s=1} \cdot Z ]$$

$$= C [ M_w + aM_s ] \quad \dots \dots \dots \quad (3-2)$$

係数  $a$  は波浪曲げモーメントと静水曲げモーメントが疲労被害に与える比重を示す。

Fig. 3-10は前記の基準船型 C 7 0 6 5 ( $L = 125 m$ ,  $Z = 4.6 m^3$ ) T 6 0 8 0 ( $L = 300 m$ ,  $Z = 79.4 m^3$ )について上記の計算を短波頂不規則海面での応力頻度曲線 ( $N_T = 1.0^8$ ) , 長波頂正面不規則海面での2種 ( $N_T = 1.0^7$ ,  $N_T = 1.0^8$ ) の応力頻度曲線をもちいて行つたが静水曲げ応力が疲労被害に及ぼす比重を示す係数  $a$  は上記三種の場合ともほぼ等しい結果を得た。

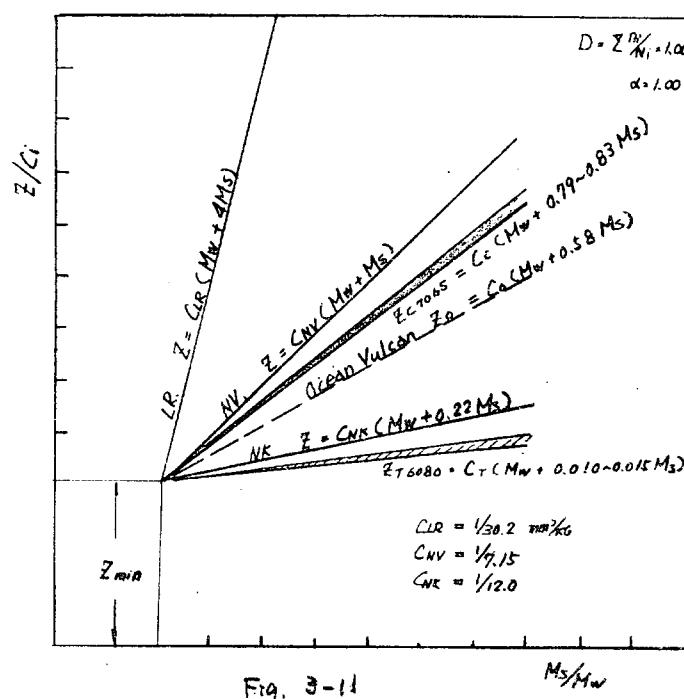
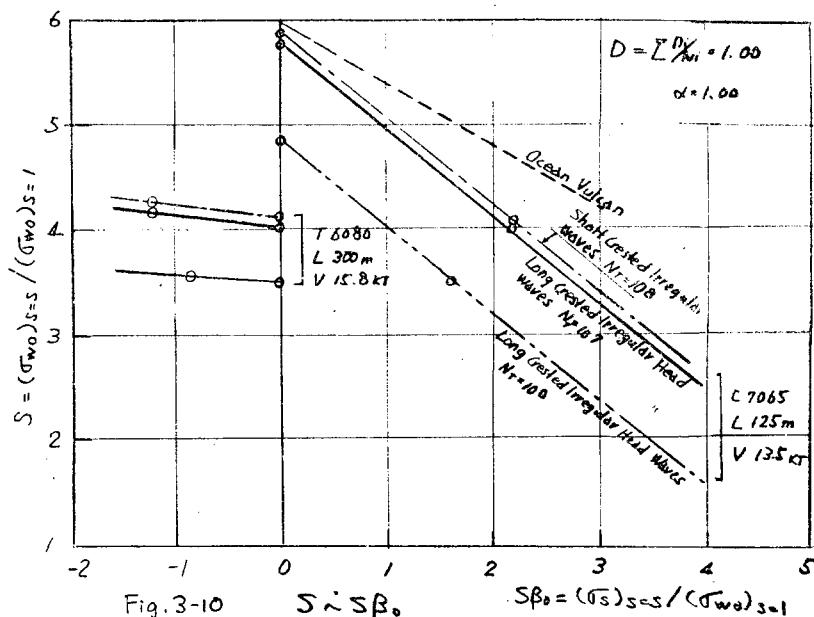
Fig. 3-11 から, C 7065 ( $L = 125\text{m}$ )について静水曲げモーメント  $M_s$  は波浪曲げモーメント  $M_w$  の  $\frac{1}{2}$  の比重で疲労被害に影響を及ぼすが, T 6080 ( $L = 250\text{m}$ )については  $M_s$  はほとんど影響を及ぼさないことが知れる。

### 3-5 疲労強度について船型の影響

本節では貨物船 9種, 油送船 5種の船型に対して夫々船長をかえ応力集中がない ( $\alpha = 1.0$ ) 場合, 不連続部あるいは切欠き等により応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合について船体断面係数  $Z$  と疲労被害に対する安全率  $S$  との関係及び静水曲げモーメントの疲労被害に及ぼす比重を長波頂正面不規則海面で発現確率が  $Q \geq 10^{-7}$  の範囲の波浪曲げモーメントの長期分布を用いて求めた頻度分布 ( $N_T = 10^7$ ) を使って近似的に計算したものである。

Table 3-3～6 は計算結果を示す。

Fig. 3-12 は応力集中のない ( $\alpha = 1.0$ ) 場合について貨物船の基準船型 C 7065 の  $M_s$  と  $M_w$  の疲労被害に及ぼす比重を船長をパラメーターとして示す。



*Fig. 3-13* は  $C_b$  が一定で、 $L/B$  の影響を示し、*Fig. 3-14* は  $L/B$  が一定で  $C_b$  の影響を示す。

*Fig. 3-15~17* は、応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合についての計算結果である。*Fig. 3-13* は貨物船の基準船型 C 70 65 について船体の疲労強度に関する安全率とその安全率をもつて要する断面係数との関係を船長をパラメーターとして示したものである。*Fig. 3-19~20* は  $L/B$ ,  $C_b$  の影響を示す。

以上の計算結果より貨物船船型の疲労強度について下記のことが云える。

- 1)  $M_w$  と  $M_s$  とが疲労被害に及ぼす比重は船長 ( $L$ ), 船型 ( $L/B$ ,  $C_b$ ) の影響を受ける。

船長  $L$ ,  $L/B$  が増加するにつれて  $M_s$  の疲労被害に及ぼす比重は増す。 $C_b$  の増加につれて  $M_s$  の比重は見かけ上減少するが  $M_s$  の絶対値も小さくなっているので  $C_b$  の影響については結論は下せない。基準船型 C 70 65 については  $M_s$  の比重は 0.7 ~ 1.5 の範囲にあり NV, Rule e とよく一致している。

- 2) 応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合は応力集中がない ( $\alpha = 1.0$ ) 場合に比べて  $M_s$  の比重は 5割増となる。

- 3) *Fig. 3-18* から知れるように応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合の疲労被害に対する安全率は応力集中のない場合の約1/2となる。従つて応力集中のない時と同じ安全率を与えるためには断面係数は約 2倍増としなければならない。

- 4) *Fig. 3-19~20* から知れるように  $L/B$  が大なる程同じ断面係数に対して疲労強度は大きい。

*Table 3-5~6* は油送船についての計算結果である。

*Fig. 3-21* は応力集中がない ( $\alpha = 1.0$ ) 場合、*Fig. 3-22* は応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合について油送船の各船型について  $M_s$  と  $M_w$  の疲労被害に及ぼす比重を示す。

*Fig. 3-23* は油送船の基準船型 T 60 80 について疲労被害に対する安全率とその安全率を持つのに必要な断面係数との関係を船長をパラメーターとして示したもので、図中、1点鎖線は 6 船級協会が要求している最小断面係数の平均値とその値をもつときの疲労被害に対する安全率との関係を示す。

*Fig. 3-24* は油送船の各船型について求めたものである。

以上の計算結果から油送船型の疲労強度について次のことが云える。

- 1)  $M_w$ ,  $M_s$  が疲労被害に及ぼす比重は船型 ( $L/B$ ,  $C_b$ ) の影響が大きく、船長の変化による影響は微小である。 $L/B$  が大なる程  $M_s$  の比重が大きい。

- 2)  $C_b$  の影響について考えるより  $M_s$  の正負 (正はホグモーメント) の影響を考えるべきである。即ち油送船では  $C_b \approx 0.75$  だけがホグモーメントで他の  $C_b$  に対しては  $M_s$  はサグモーメントであつた。一般にサグモーメントを持つ船型では疲労被害に対する安全率が大きく、また  $M_s$  の疲労被害に及ぼす比重は小さく NV Rule e と NK Rule e の間にある。 $M_s$  がホグモーメントの  $C_b = 0.75$  の場合は貨物船船型とほぼ同じ傾向を示し、 $M_s$  の比重が NV Rule e に良く一致している。

- 3) 6 船級協会が要求する最小断面係数を持つ船体は応力集中がない ( $\alpha = 1.0$ ) 場合は、約 4 倍の疲労被害に対する安全率をもつている。応力集中がある ( $\alpha = 4.0$ ) 場合は船型により多小異なるがほぼ 2.5 ~ 3 倍の安全率をもつていることがわかつた。

- 4) 疲労被害に対する各応力の比重については *Fig. 3-4* から知れるように S-N 曲線の勾配が関係する。応力集中係数  $\alpha$  が大きい程 S-N 曲線は急勾配となるので頻度の大きい低応力の影響が大となる。

## 参考文献

森口恍治 “造船用板材の疲労強度について”

S R . 63 研究部会報告書、第 2 章

西原利夫他 “繰返し引張圧縮応力を受ける鋼の強さ”

日本機械学会論文集 5 (1939)

関西造船協会ルール検討委員会報告、第 1 報

各国船級協会の縦強度規則について (昭和 41 年 2 月)

Table 3-3

Cargo Ship		Stress Concentration Factor $\alpha=1.0$					
TYPE	L (m)	$\beta_0$	S	$\beta_0$	S	a	b
C 7 0 6 5	5 0	0	111.5	0.266	9.44	0.68	111.5
	7 5	0	27.7	0.338	2.24	0.80	27.7
	1 0 0	0	11.2	0.430	8.39	0.80	11.2
	1 2 5	0	5.89	0.545	4.00	0.85	5.85
	1 5 0	0	3.36	0.650	2.08	0.95	3.36
	1 7 5	0	2.06	0.735	1.18	1.01	2.06
	2 0 0	0	1.31	0.800	0.71	1.05	1.31
C 6 0 5 5			3.83	1.21	1.41	1.42	3.83
C 7 0 5 5	1 5 0	0	4.20	0.980	1.55	1.74	4.20
C 8 0 5 5			4.56	0.825	1.68	2.08	4.56
C 6 0 6 5			3.06	0.800	1.89	0.77	3.06
C 7 0 6 5	1 5 0	0	3.36	0.651	2.08	0.95	3.36
C 8 0 6 5			3.65	0.543	2.26	1.13	3.65
C 6 0 7 5			2.69	0.284	2.38	0.46	2.69
C 7 0 7 5	1 5 0	0	2.95	0.230	2.61	0.57	2.95
C 8 0 7 5			3.20	0.192	2.84	0.66	3.20

Table 3-4

Cargo Ship		Stress Concentration Factor $\alpha=4.0$					
TYPE	L (m)	$\beta_0$	S	$\beta_0$	S	a	b
C 7 0 6 5	5 0	0	79.7	0.270	64.6	0.865	79.7
	7 5	0	20.0	0.340	15.3	0.915	20.0
	1 0 0	0	7.95	0.430	5.55	1.01	7.95
	1 2 5	0	4.18	0.550	2.57	1.14	4.18
	1 5 0	0	2.40	0.655	1.30	1.30	2.40
	1 7 5	0	1.48	0.745	0.712	1.45	1.48
	2 0 0	0	0.94	0.820	0.415	1.54	0.94
C 6 0 5 5			2.69	1.200	0.725	2.26	2.69
C 7 0 5 5	1 5 0	0	2.94	0.970	0.795	2.78	2.94
C 8 0 5 5			3.19	0.895	0.945	2.68	3.19
C 6 0 6 5			2.20	0.807	1.18	0.965	2.20
C 7 0 6 5	1 5 0	0	2.40	0.655	1.30	1.290	2.40
C 8 0 6 5			2.60	0.546	1.41	1.550	2.60
C 6 0 7 5			1.68	0.286	1.44	0.580	1.68
C 7 0 7 5	1 5 0	0	1.83	0.232	1.58	0.680	1.83
C 8 0 7 5			1.98	0.194	1.71	0.815	1.78

Table 3-3, 3-4のSはZ=6mの貨物船の値であるが係数a, bはZに無関係に一定である。

Table 3-5

Tanker		Stress Concentration Factor				$\alpha = 1.0$	
TYPE	L (m)	$\beta_0$	S	$\beta_0$	S	a	b
T 6075	150	0	25.2	0.034	24.3	1.03	25.2
	250	0	5.00	0.053	4.73	1.08	5.00
	400	0	1.14	0.087	1.25	1.11	1.14
T 6080	150	0	21.3	-0.148	21.4	0.032	21.3
	250	0	4.35	-0.232	4.38	0.030	4.35
	400	0	1.11	-0.388	1.11	0.019	1.11
T 6085	150	0	21.5	-0.327	21.8	0.042	21.5
	250	0	4.40	-0.615	4.47	0.031	4.40
	400	0	1.11	-0.860	1.15	0.041	1.11
T 5080	150	0	20.1	-0.202	20.27	0.040	20.1
	250	0	4.10	-0.316	4.15	0.038	4.10
	400	0	1.04	-0.528	1.06	0.037	1.04
T 7080	150	0	22.5	-0.115	22.6	0.038	22.5
	250	0	4.60	-0.180	4.63	0.036	4.60
	400	0	1.17	-0.302	1.17	0.023	1.17

Table 3-6

Tanker		Stress Concentration Factor				$\alpha = 4.0$	
TYPE	L (m)	$\beta_0$	S	$\beta_0$	S	a	b
T 6075	150	0	14.2	0.034	13.8	0.96	14.2
	250	0	2.80	0.053	2.65	1.07	2.80
	400	0	0.70	0.087	0.65	0.96	0.70
T 6080	150	0	12.0	-0.148	12.9	0.50	12.70
	250	0	2.45	-0.232	2.75	0.47	2.45
	400	0	0.63	-0.388	0.80	0.56	0.63
T 6085	150	0	12.1	-0.327	14.1	0.43	12.1
	250	0	2.47	-0.615	3.10	0.33	2.47
	400	0	0.63	-0.860	0.90	0.36	0.63
T 5080	150	0	11.3	-0.202	12.45	0.45	11.3
	250	0	2.31	-0.316	2.70	0.45	2.31
	400	0	0.59	-0.528	0.75	0.46	0.59
T 7080	150	0	12.0	-0.115	13.3	0.88	12.0
	250	0	2.45	-0.186	2.83	0.74	2.45
	400	0	0.63	-0.302	0.80	0.73	0.63

Table 3-5, 3-6 は  $Z = 50 \text{ m}$  に対する値であるが係数  $a, b$  は  $Z$  がかわっても値はかわらない。

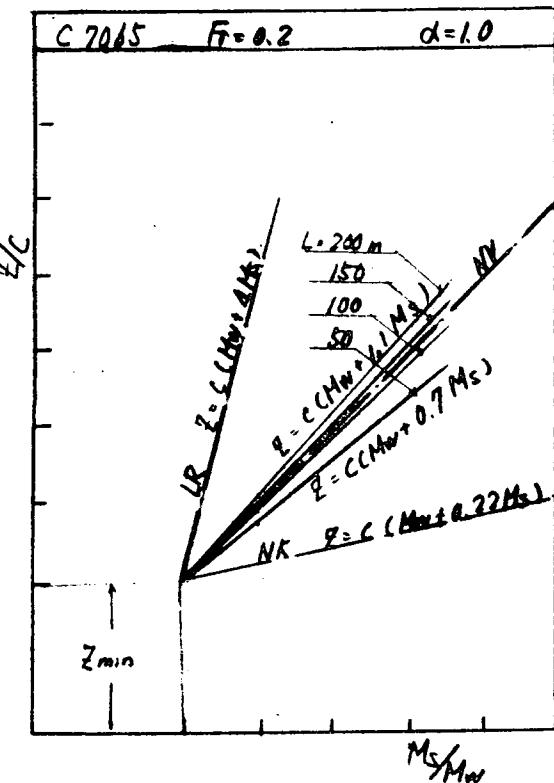


Fig. 3-12

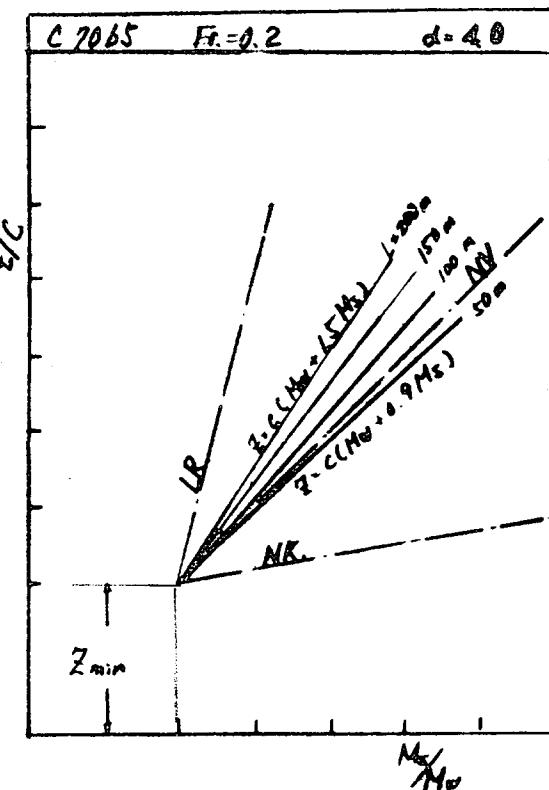


Fig. 3-15

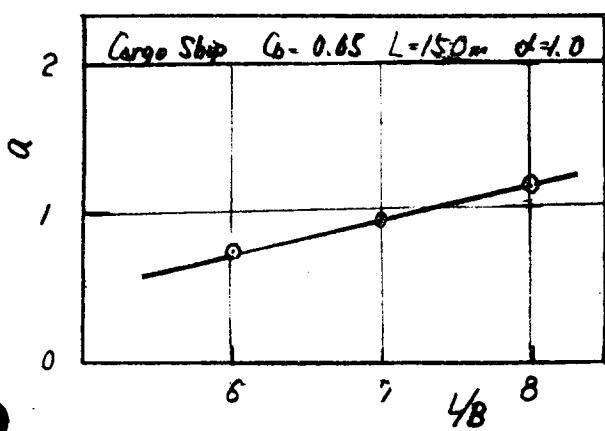


Fig. 3-13

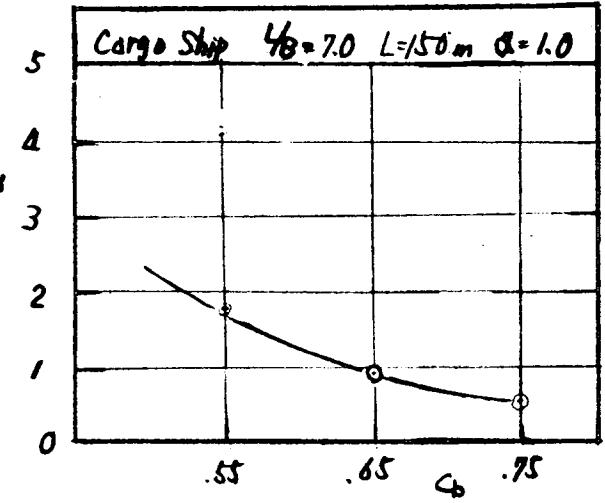


Fig. 3-14

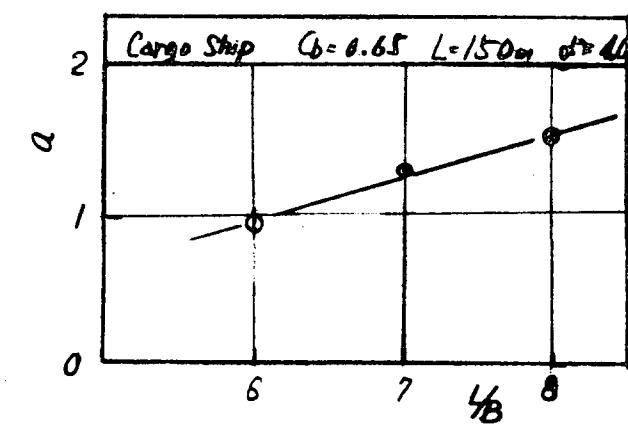


Fig. 3-16

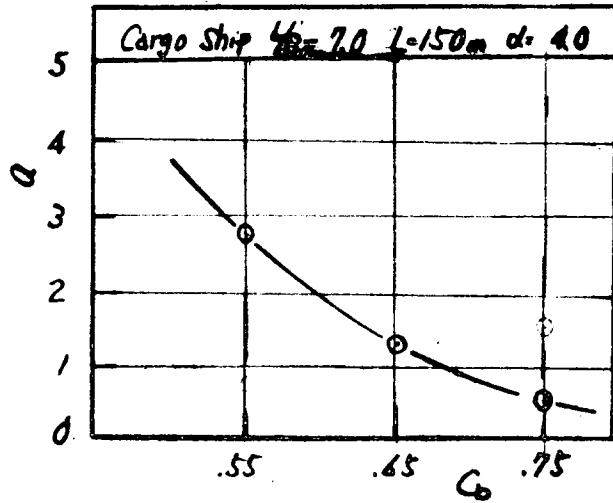


Fig. 3-17

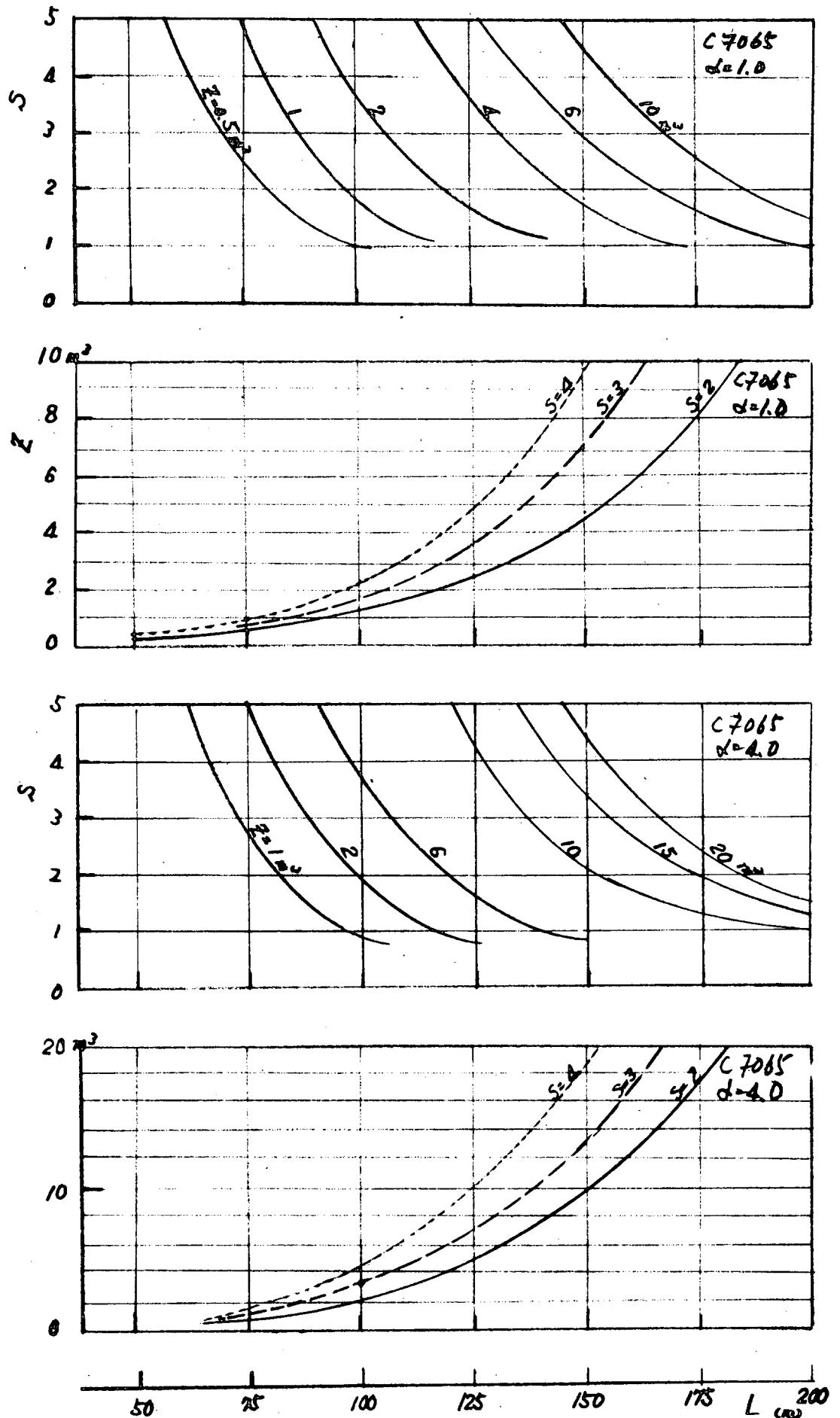


Fig. 3-18 疲労被害に対する安全率と船体断面係数との関係

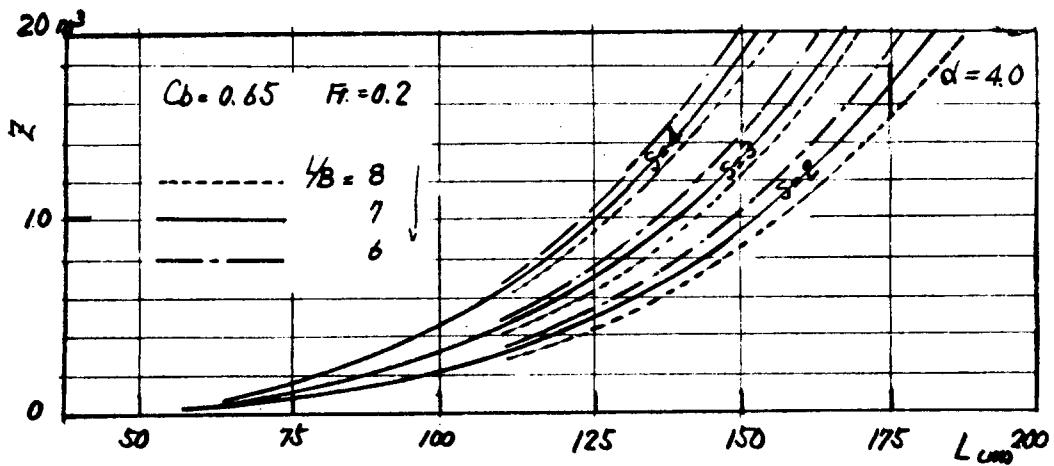


Fig. 3-19

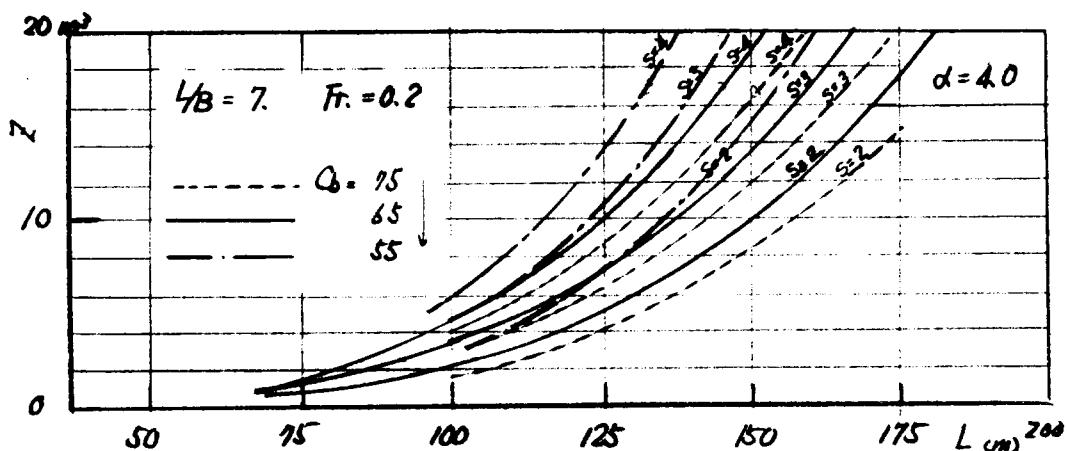


Fig. 3-20

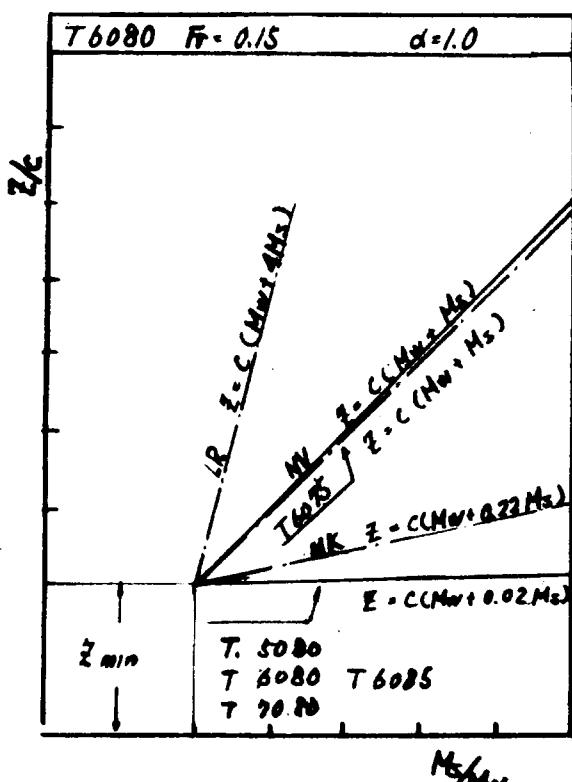


Fig. 3-21

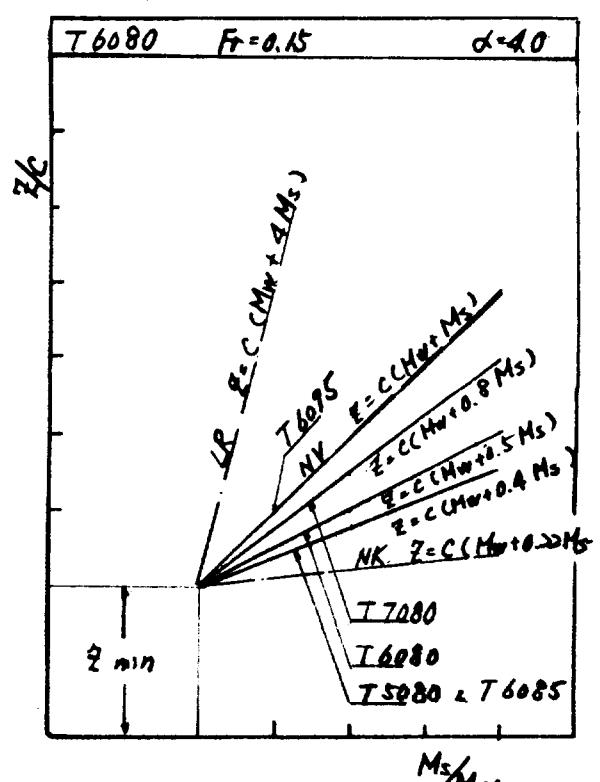


Fig. 3-22

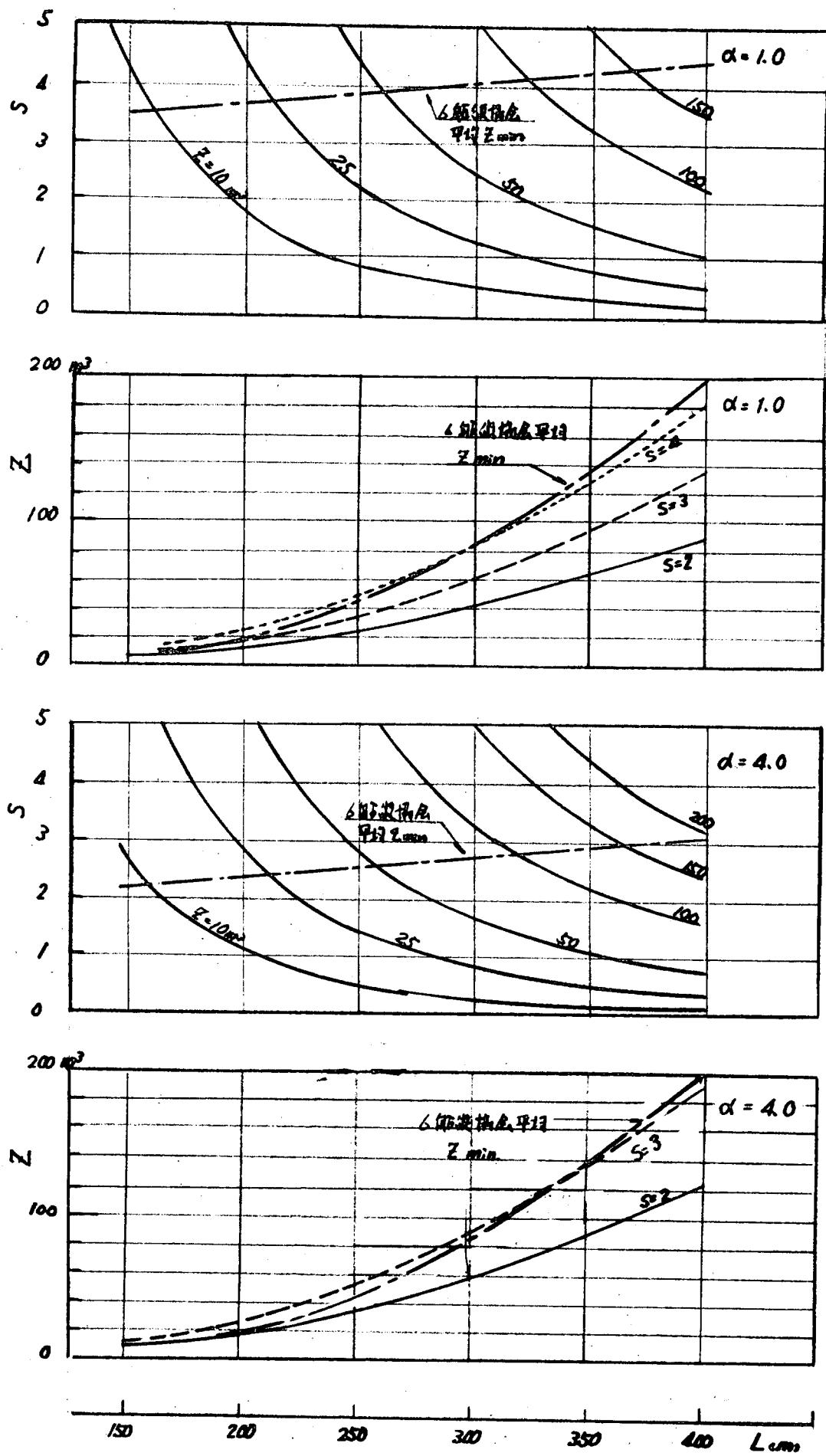


Fig. 3-23 油送船の基準船型 T6080 の疲労被害に対する  
安全率と船体断面係数との関係

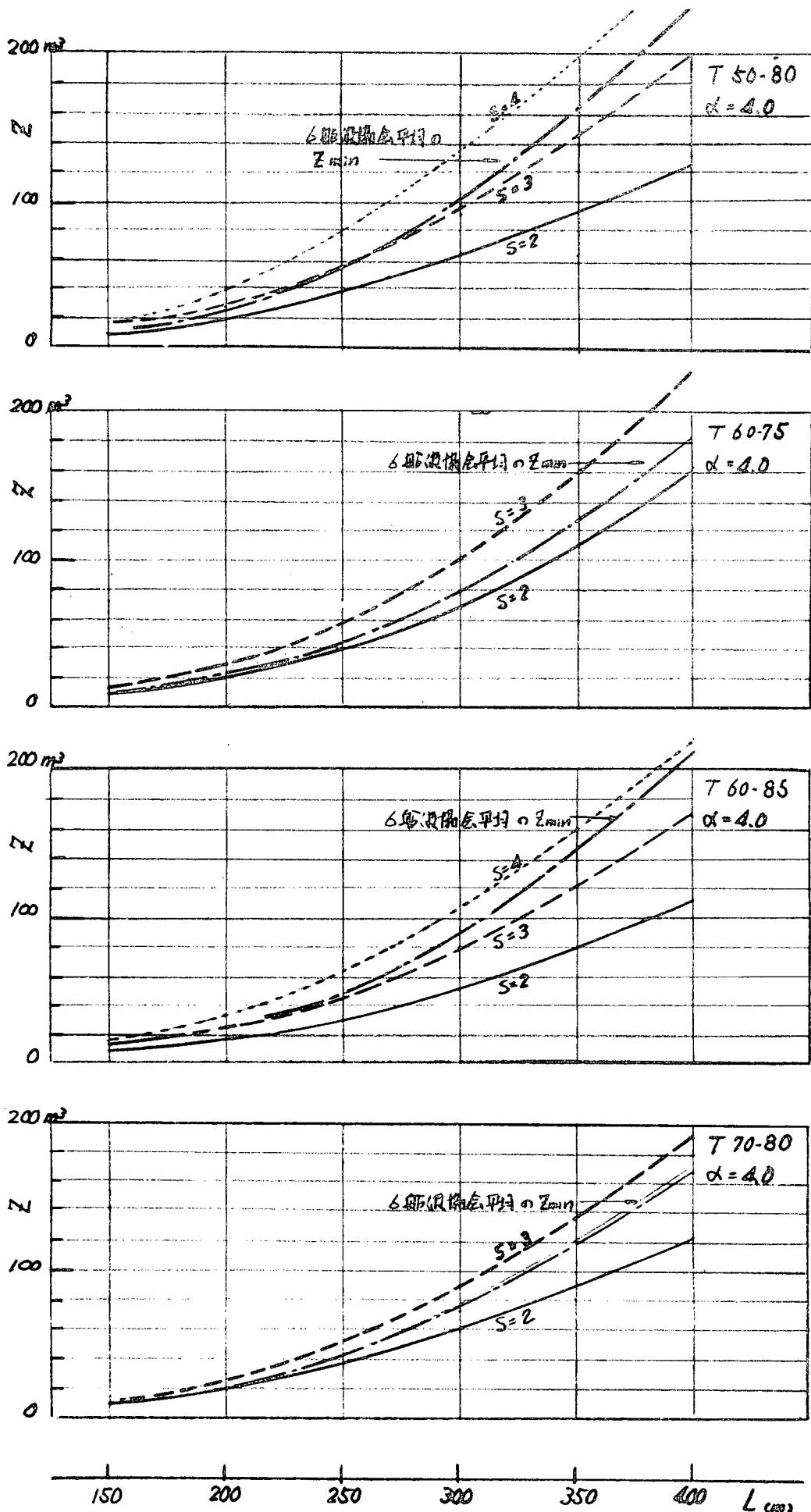


Fig. 3-24 疲労被害に対する安全率と船体断面係数との関係