

# 船体に働く波浪変動水圧

—大型鉱石船の模型による実験データ集—

宮本 武\* ・ 郷田国夫\* ・ 菅井和夫\*\*  
北川弘光\*\*\* ・ 武井幸雄\*\*\* ・ 菅 信\*\*  
大松重雄\*\* ・ 岡本三千朗\*\*\*

## Hydrodynamic Pressures Acting on the Hull Surface in Waves

—Model Tests Data on an Ore Carrier—

By

Takeshi MIYAMOTO, Kunio GODA, Kazuo SUGAI,  
Hiromitsu KITAGAWA, Yukio TAKEI, Makoto KAN,  
Shigeo OHMATSU and Michio OKAMOTO

### Summary

Model experiments were carried out on a gigantic ore carrier in oblique regular waves. Hydrodynamic pressures on the hull surface and ship behaviours were measured to present the useful materials for the wave load estimation.

A part of the test results had already been reported on the Journal of the Society of Naval Architects of Japan (JSNA), No. 133, 1973, in which comparison between the test and the calculated results by the strip method were made and the usefulness of the strip method for the estimation of the hydrodynamic pressures was discussed. The data obtained from the model tests are so many that most of them are not reported. Therefore, all of the data on hydrodynamic pressures are shown in this paper. Concerning the experimental procedures and the ship behaviours, the previous paper should be cited.

### 目 次

1. 緒 言
  2. 実験概要
    - 2.1 供試模型
    - 2.2 計測項目
    - 2.3 実験方法と実験状態
  3. 実験結果
    - 3.1 波浪中の船体運動, その他
    - 3.2 波浪変動水圧
      - 3.2.1 波浪変動水圧振幅の読み取り
      - 3.2.2 波浪変動水圧の横断面内振幅分布
      - 3.2.3 波浪変動水圧の船長方向振幅分布
      - 3.2.4 波浪変動水圧の横断面内瞬時値分布
      - 3.2.5 波浪変動水圧の船長方向瞬時値分布
- 謝 辞・参考文献

### Notation

- $\chi$ : Heading Angle (deg.)  
 $\chi_c$ : Course Angle (deg.)  
 $z_0$ : Heaving Amplitude (m)  
 $\phi_0$ : Rolling Amplitude (deg.)  
 $\theta_0$ : Pitching Amplitude (deg.)  
 $\lambda$ : Wave Length (m)  
 $L$ : Ship Length (m)  
 $h_w (=2h_0)$ : Wave Amplitude (m)  
 $\zeta_r$ : Relative Water Elevation (m)  
 $T_e$ : Period of Encounter (sec.)  
 $P_0$ : Hydrodynamic Pressure Amplitude (mAq)  
 $V$ : Ship Speed (Knots)  
 $\rho$ : Density of Water (ton/m<sup>3</sup>)  
 $g$ : Gravitational Acceleration (m/sec<sup>2</sup>)

\* 船体構造部 \*\* 運動性能部 \*\*\* 推進性能部  
原稿受付: 昭和54年5月1日

## 1. 緒 言

昭和 45 年に発生した大型鉱石船の海難事故を契機として、荒海中を航行する船舶に働く波浪外力の解明が急務とされ、官民一体となった研究が全国の各研究機関で行われることとなり、日本造船研究協会第 131 研究部会（波浪外力に関する水槽試験）を中心に研究が行われた。当所においても、その一環として、昭和 46 年度から 49 年度までの 4 年間に亘って、大型鉱石船の模型による水槽試験を中心とした研究を行った。その研究は、船体表面に働く波浪変動水圧、二方向波中における波浪衝撃水圧、海水打込み、その他かなり広い範囲にわたるものであった。その研究結果の主なものはそれぞれすでに発表している。船体表面に働く波浪変動水圧の研究結果については、第 131 研究部会報告<sup>2)</sup>と日本造船学会論文集第 133 号<sup>1)</sup>に報告している。しかし、これらの報告には、紙数の制限もあって実験結果の一部しか掲載されておらず未発表の実験データで有用と思われるものが多くあるので、それらを上記の報告及び論文の補遺として、また、今後の波浪外力の研究のための波浪変動水圧の実験データ集として既発表のデータとともにまとめて報告する。

本報告は実験データ集であるので、考察はすべて上記論文<sup>1)</sup>にゆずる。

本報告はもっと早い時期に出すべきであったが、作業が遅れたために今日に至った。今後の波浪外力の研究資料として役立つことができれば幸いである。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試模型

実験に用いた模型船は、大型鉱石専用船「笠木山丸」の 4.5 m 木製模型で、その線図を Fig. 1 に、主要目を Table 1 に示す。

### 2.2 計測項目

本実験の計測項目は以下に述べる通りである。

- 1) 波 高
- 2) 船の航跡と速度
- 3) 船体運動（縦揺れ、横揺れ）
- 4) 上下加速度（重心および S. S. 9 3/4 の位置）
- 5) 方位角、回頭角速度、舵角
- 6) 船側相対水位（S. S. 8 1/2, 9 1/2 および 9 3/4 の風上側船側の位置）
- 7) 変動水圧（24 点同時計測）
- 8) プロペラ軸の回転数、推力

(260)

以上の他に、船上に 8 mm シネカメラを搭載し、また陸上から 16 mm シネカメラ及び 35 mm カメラで撮影を行い、計測の補助データとした。

変動水圧の計測には、豊田工機製の PMS-5M-0.5H 型水圧計を用いた。水圧計の諸寸法、模型船への取付け状況を Fig. 2 に示す。

Fig. 3 に角水槽の実験計測系統を、また Fig. 4 に模型船内の計測系統を示す。

### 2.3 実験方法と実験状態

実験は船舶技術研究所の三鷹第一船舶試験水槽（通称角水槽）において行った。角水槽に発生させた規則波中にて模型船を航走させた。波に対する模型船の出会角を所定の値に保つために自動操舵装置を用いた。また、プロペラ駆動モータの電圧は、航走中一定に保って自由航走させた。したがって、波浪中での船速は自然のまゝに低下する。規則波の波高は  $L/20$  ( $= 12.35$  m) を標準波高とした。

水圧の同時計測点数に制限があるため、実験を I ~ V のグループに分け、それぞれの目的に応じて水圧計を配置した。I ~ V のグループは次のようなものである。

- I: 変動水圧の船側、船底における長さ方向の分布の計測
- II: 変動水圧の船首近傍の横断面分布の計測
- III: 波高が  $L/30$  ( $= 8.23$  m) の場合の変動水圧の船体中央部および船首部横断面分布の計測
- IV: 波高が  $L/15$  ( $= 16.47$  m) の場合の変動水圧の船体中央部および船首部横断面分布の計測
- V: 変動水圧の船体中央から船尾にかけての横断面分布の計測

これら各実験グループにおける水圧計の配置を Fig. 6(a) ~ (d) に示す。図中、水圧計の位置に記した角度は船体横断面に対する Lewis form の座標パラメタである。ただし、吃水線直上および直下の水圧計は、各断面とも同一吃水線上にあり、吃水線からのその距離は  $\pm 2.25$  m である。Table 2 に模型および実船換算した水圧計測位置の座標を示す。

Table 3 に、これら各グループの実験状態、すなわち、波長、波高、出会角および船速を示す。ここで、船速は平水中の値であって、波浪中では船速低下が生じ、各実験状態における船速はそれぞれ異なったものとなる。後述の実験結果を示す図には、それぞれの船速の値を逐一記入してある。なお、本船の計画速度は 14.8 knot である。

本報告に用いた座標系および定義を Fig. 5 に示す。なお、 $\chi=180^\circ$  の場合が向い波、 $\chi=90^\circ$  の場合が横波の状態である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 波浪中の船体運動, その他

まず、船速低下について Fig. 7 に示す。これは波浪中において、模型のプロペラ駆動モータの電圧を一定に保って航走させた場合、種々の波長の波に対して船速がどのように低下していくかを示したものである。Fig. 8 に斜波中における漂流の度合を、縦軸にコース角、横軸に方位角を取って示した。

Fig. 9~11 は波浪中における船体運動の振幅を示す。これらの図は、それぞれ縦揺れ、上下揺れ、横揺れの振幅を示すが、同図中にはストリップ法による計算値（漂流を考慮に入れない）も示している。横揺れについて、漂流の影響を考慮した計算値と実験値とを比較したものを Fig. 12 に示す。

なお、上下揺れの実験値は上下加速度の実験値から換算して求めたものである。

Fig. 13, 14, 15 はそれぞれ S. S. 9 3/4, 9 1/2, 8 1/2 における船側相対水位変動振幅の実験値とストリップ法による計算値（漂流を考慮に入れない）を出合角をベースに表わしたものである。漂流の影響を考慮した計算値と実験値との比較を示すと Fig. 16 のようになる。

#### 3.2 波浪変動水圧

##### 3.2.1 波浪変動水圧振幅の読み取り

変動水圧の記録波形は、船体上の水圧計の取付位置により Fig. 17 に示すような3種類に分類される。吃水線近傍の水圧波形は (a), (b) のような半波型となり、船底やビルジ部のように船体運動によっても船体が空中に露出しない部分では (c) のような正弦波状となる。変動水圧の片振幅の読み取りは次のようにした。すなわち、吃水線直下の水圧は図の (a) のように、全変動量からその点における平水中静止時の静水圧を引いた量  $P_0$  を片振幅とし、吃水線上の点の水圧は変動量  $P_0$  を、そのまま片振幅、また、(c) の正弦波状の場合は全振幅の 1/2 を片振幅とした。波形の式別はすべて肉眼によって行った。

##### 3.2.2 波浪変動水圧の横断面内振幅分布

Fig. 18~23 は、S. S. 9 1/2, 8 1/2, 7 1/2, 5, 4 1/2, 1 の 6 断面について、その断面内で同時計測した変動水圧の振幅分布である。これらの図は、波長別に

出合角が  $\chi=180^\circ, 135^\circ, 90^\circ$  を 1 枚の図に、 $\chi=165^\circ, 150^\circ, 120^\circ, 45^\circ$  のうちの何点かを 1 枚の図として、同一波長につき 2 枚の図に分けて示している。波高はすべて  $L/20 (=12.35 \text{ m})$  である。

##### 3.2.3 波浪変動水圧の船長方向振幅分布

Fig. 24~28 は、それぞれ風上側船側、船底中心線および風下側船側における船の長さ方向に同時計測した変動水圧の振幅分布を示す。各図とも出合角をパラメータとして示している。風上側及び風下側における変動水圧の計測位置は、どの断面においても同一水線上にあり、満載吃水線からのその距離は  $-2.25 \text{ m}$  である。

Fig. 29(a)~(f) は、前述の船長方向の振幅分布の表わし方を変えて、各断面における変動水圧振幅と出合角との関係を示したものである。すなわち S. S. 9 1/2, 8 1/2, 7 1/2, 5, 4 1/2, 1 の各断面の風上側吃水線下  $2.25 \text{ m}$  の点における変動水圧振幅と出合角  $\chi$  との関係  $\lambda/L$  をパラメータにして示している。

##### 3.2.4 波浪変動水圧の横断面内瞬時値分布

Fig. 30~32 は、 $\lambda/L=0.75, 1.00, 1.25$  で出合角  $\chi=180^\circ, 135^\circ, 90^\circ$  の場合の S. S. 8 1/2 における変動水圧の瞬時値の分布と位相差を示したものである。各点の瞬時値は平水中静止時の静水圧を加えた全水圧をとっている。瞬時値分布の線に付した番号は、出合周期  $T_e$  を 8 等分した各時点の番号を示している。時点番号 0 は、S. S. 8 1/2 の風上側船側の水線下  $2.25 \text{ m}$  の点 (Lewis form の座標パラメータ  $\alpha=85^\circ$ ) の変動水圧が最大になった時刻の瞬時値分布を示す。以下、 $T_e/8$  間隔の時刻を順に示している。また、Fig. 30(d), 31(d), 32(d) は、横軸に断面上の位置をあらわす角度をとり、風上側船側の吃水線下  $2.25 \text{ m}$  の点の変動水圧を基準とした各点の変動水圧の位相差を示したものである。

##### 3.2.5 波浪変動水圧の船長方向瞬時値分布

Fig. 33~37 は風上側 (右舷)、風下側 (左舷) の吃水線下  $2.25 \text{ m}$  における船の長さ方向の変動水圧の瞬時値の分布を示す。図中の番号は、波との出合周期  $T_e$  を 4 等分した各時点番号を示している。時点番号 0 は、S. S. 8 1/2 の風上側船側の吃水線下  $2.25 \text{ m}$  の点の変動水圧が最大になった時刻を示し、以下、 $T_e/4$  間隔の時刻を示している。また、縦軸は、変動水圧に平水中静止時の静水圧を加えた全水圧をとっている。Fig. 35 の  $\lambda/L=1.0$  の場合には、船底中心線上の変動水圧の瞬時値の分布についても示している。

謝 辞

4年間に亘る当所における波浪外力の研究は、日本造船研究協会との共同研究であって、その実施に当っては日本造船研究協会第131研究部会の東京大学元良誠三部会長はじめ委員各位に御指導並びに有益な御討論を頂いた。ここに感謝し御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 菅井, 郷田, 北川, 武井, 菅, 宮本, 大松, 岡本:  
斜め波中の船体に働く波浪変動水圧に関する模型

- 実験, 日本造船学会論文集, No. 133, 1973. 6
- 2) 日本造船研究協会第131研究部会: 波浪外力に関する水槽試験報告書, 日本造船研究協会資料, No. 163, 1972. 3
- 3) 日本造船研究協会第131研究部会: 波浪外力に関する水槽試験報告書, 日本造船研究協会資料, No. 176, 1973. 3
- 4) 日本造船研究協会第131研究部会: 波浪外力に関する水槽試験報告書, 日本造船研究協会資料, No. 192, 1974. 3
- 5) 日本造船研究協会第131研究部会: 日本造船研究協会報告, 第80号, 1976. 5

Table 1 Principal Particulars

Items	Ship	Model
Length betw P.P. (L <sub>pp</sub> )	247.000m	4.5000m
Breadth Mid. (B)	40.600m	0.7397m
Depth Mid. (D)	23.000m	0.4190m
Draft Mid. (d)	16.000m	0.2915m
Displacement (W)	135.950ton	0.8020ton
Block Coefficient (Cb)	0.8243	0.8243
Midship Coefficient (C <sub>m</sub> )	0.9975	0.9975
C.G. from Midship (G <sub>m</sub> )	fore 7.301m	fore 0.1330m
C.G. from Keel (KG)	12.280m	0.2225m
Metacentric Radius (GM)	4.130m	0.0765m
Longi. Gyradius (K <sub>L</sub> )	0.2362L <sub>pp</sub>	0.228L <sub>pp</sub>
Trans. Gyradius (K <sub>T</sub> )	0.2200B	0.38B
Rolling Period (T <sub>R</sub> )	11.04 <sub>sec.</sub>	1.87 <sub>sec.</sub>
Rudder Area (A <sub>r</sub> )	58.731 m <sup>2</sup>	0.0196 m <sup>2</sup>
Rudder Area Ratio (A <sub>r</sub> /dL <sub>pp</sub> )	0.0149	0.0149
Bilge Keel	Breadth	0.425m
	Length	62.320m
	from $\otimes$ fore	38.320m
from $\otimes$ aft.	24.000m	
		0.6981m
		0.4372m

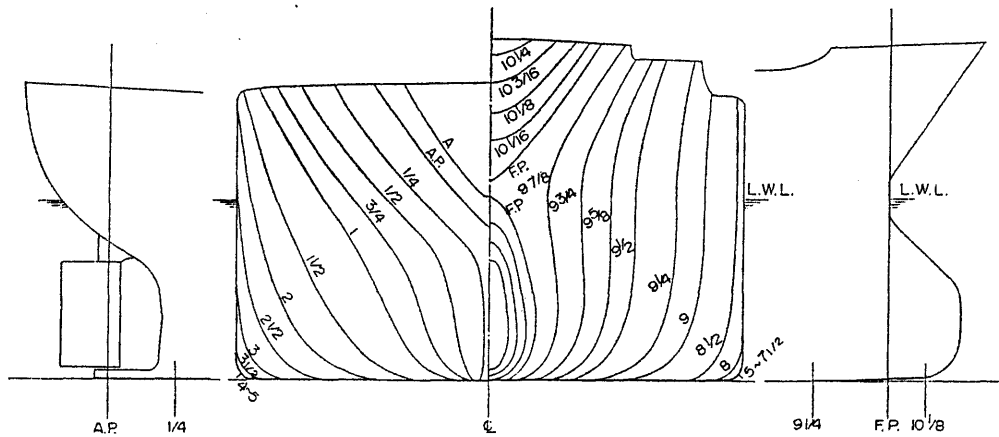


Fig. 1 Lines

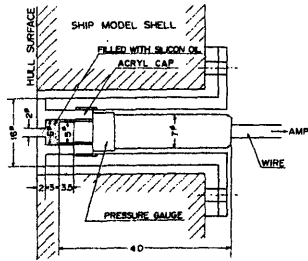


Fig. 2 Details of Pressure Gauges

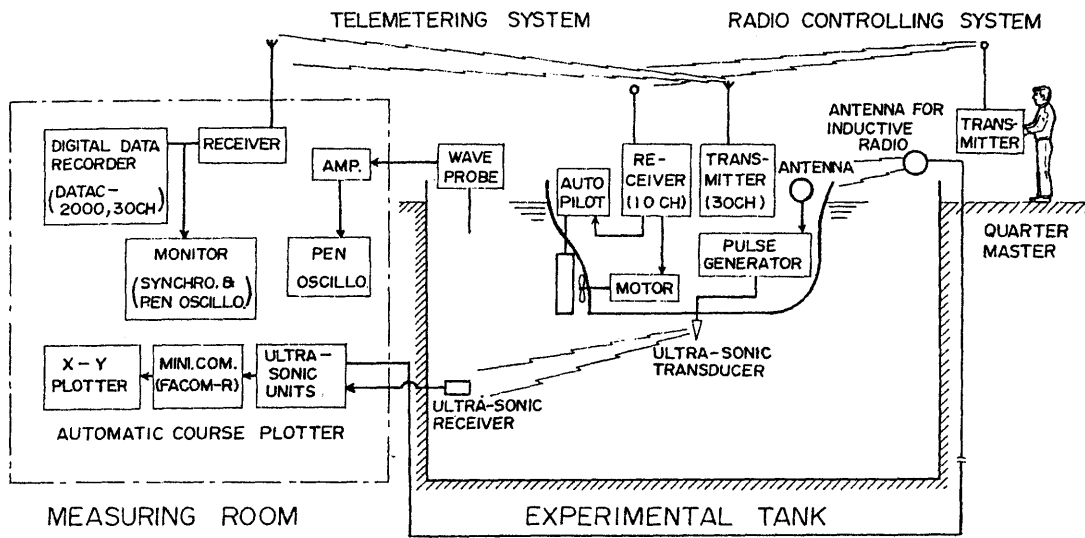


Fig. 3 Measuring System Diagram

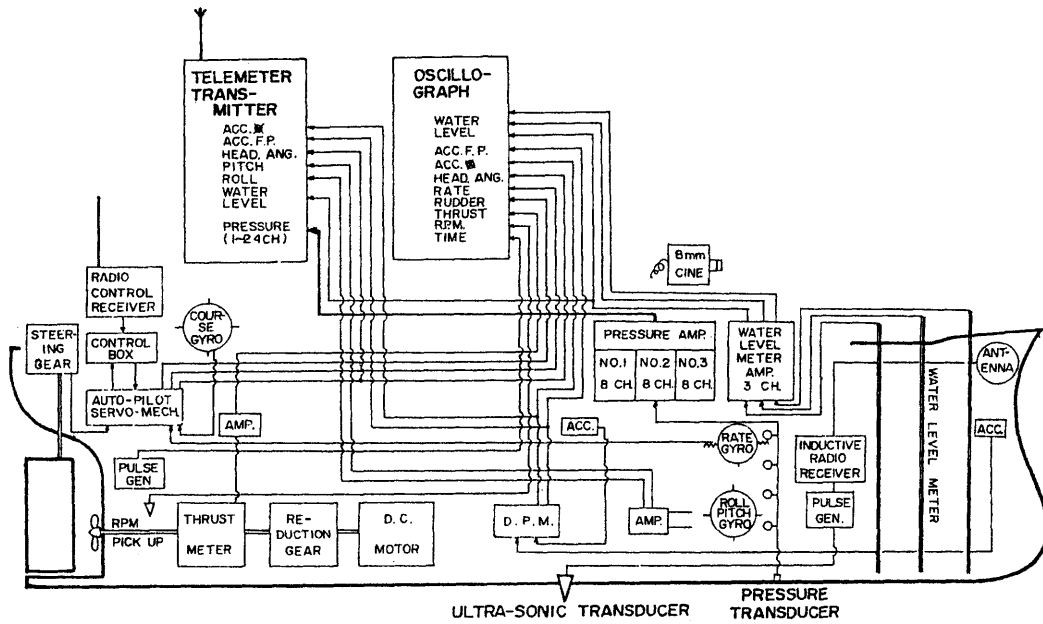


Fig. 4 Measuring System Diagram on the Model

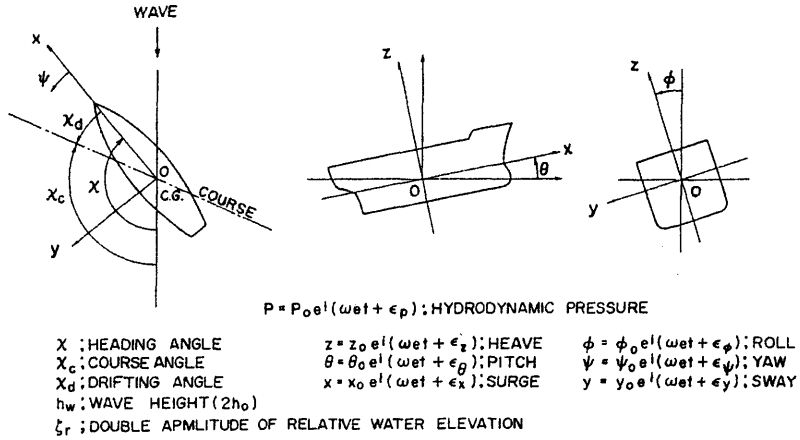


Fig. 5 Definitions

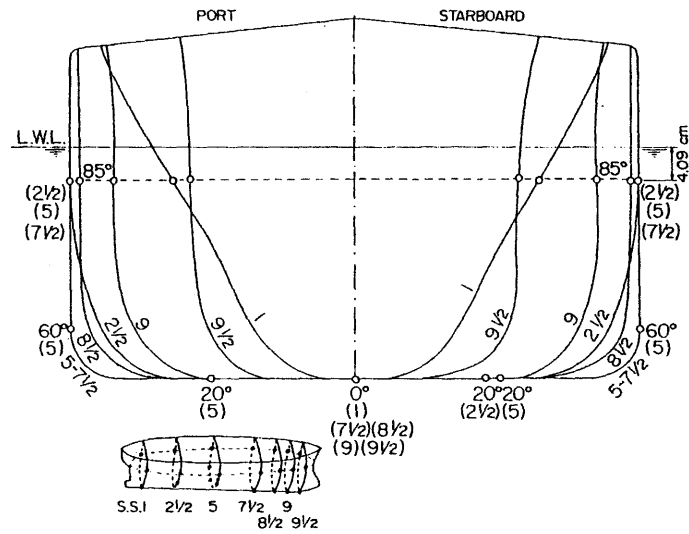
Table 2 Locations of Pressure Gauges

Q	UP. COLUMN: MODEL SHIP(mm) LOW COLUMN: SHIP(m)														
	SS9 1/2		S.S.9		SS8 1/2		SS7 1/2		S.S.5		SS2 1/2		S.S.1		
	Xs	Ys	Xs	Ys	Xs	Ys	Xs	Ys	Xs	Ys	Xs	Ys	Xs	Ys	
STARBOARD	A	2194	-409	314.1	-409	3598	-409			3698	-409				
	85°	2128	409	313.7	409	3592	409	3698	409	3698	409	3676	409	2352	409
	70°	1168	225	1722	225	1972	225	2030	225	2030	225	2018	225	1291	225
	60°	2049	1802	2968	197.1			3579	1543						
	50°					1964	848								
	40°					333.8	2564								
	30°					18.32	1407								
	25°														
	20°														
	0°														
PORT	0°	0	291.5	0	291.5	0	291.5	0	291.5					0	291.5
	-20°														
	-30°	-1477	278.2		-2470	2905	-2569	2904							
	-40°	-811	1527		-1356	1595	-1410	1594							
	-50°														
	-60°														
	-85°	2049	1802		-3486	2124	-3698	2272	-3698	2272	-3422	1923			
		-1125	989		-1915	1166	-2030	1247	-2030	1247	-1878	1056			
		-2128	409	-313.7	409	-3592	409	-3698	409	-3698	409	-3676	409	-2352	409
		-1168	225	-1722	225	-1972	225	-2030	225	-2030	225	-2018	225	-1291	225
B	-2194	-409	-314.1	-409	-3598	-409			-3698	-409					
	-1204	-225	-1724	-225	-1975	-225			-2030	-225					

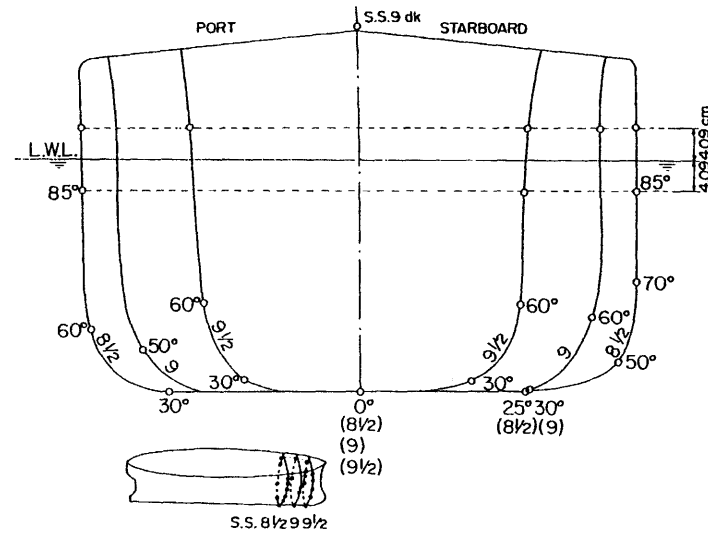
Table 3 Experimental Conditions

*Ship Test Cond.	X Speed Km	180°	165°	150°	135°	120°	90°	45°	0°	Wave Height	Remarks
I	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	12.35m (L/20)	Locations of Press. Gages: S.S. 5 and Long: 13.75m WL Bottom C.L.
	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0		
II	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	12.35m (L/20)	Locations of Press. Gages: S.S. 8 1/2, 9 and 9 1/2
	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0		
III	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	8.23m (L/30)	Locations of Press. Gages: S.S. 5, 8 1/2 and 9 1/2
	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0		
IV	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	16.47m (L/15)	Locations of Press. Gages: S.S. 5, 8 1/2 and 9 1/2
	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0		
V	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	12.35m (L/20)	Locations of Press. Gages: S.S. 12 1/2, 5, 7 1/2 and 9 1/2
	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0		
	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0		

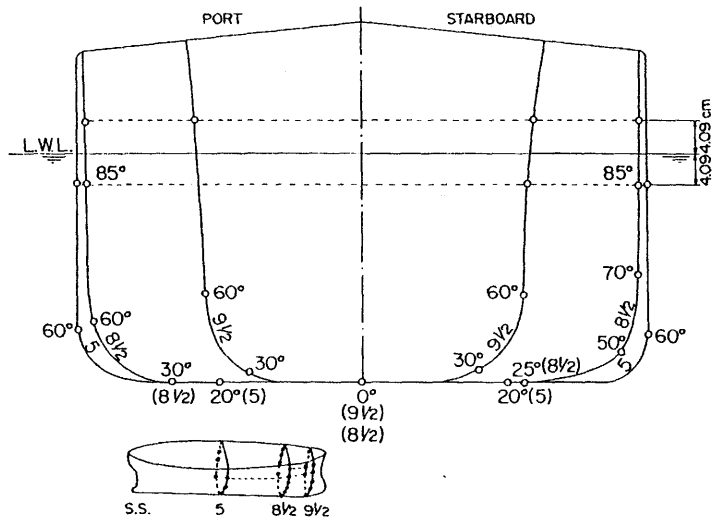
\* In Still Water



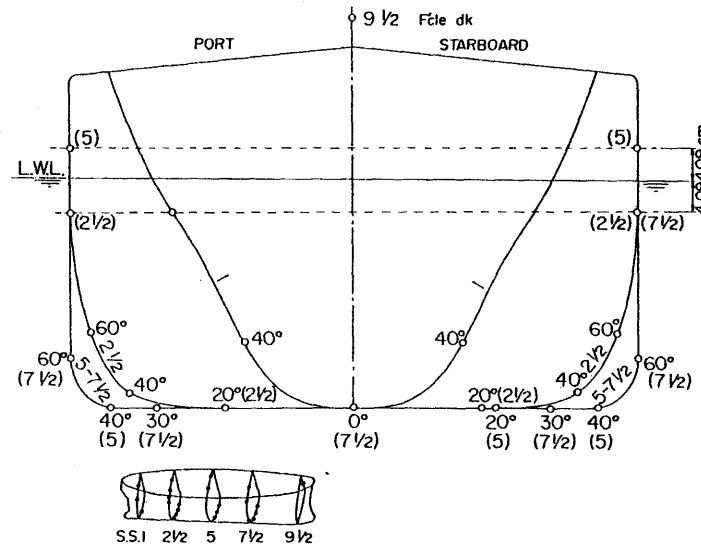
(a) Experimental Conditions I



(b) Experimental Conditions II



(c) Experimental Conditions III, IV



(d) Experimental Conditions V

Fig. 6 Locations of Pressure Gauges

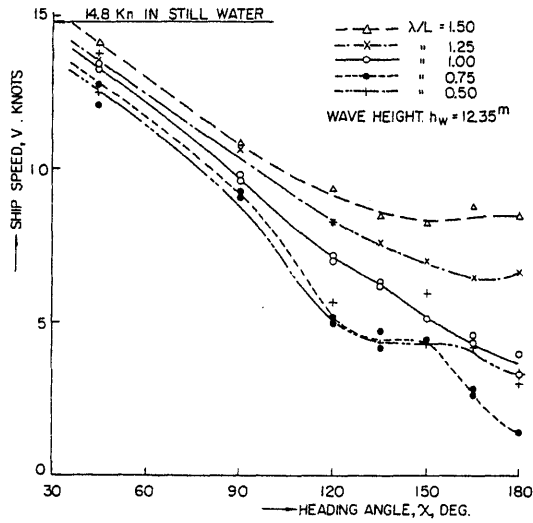


Fig. 7 Speed of the Ship in Oblique Waves

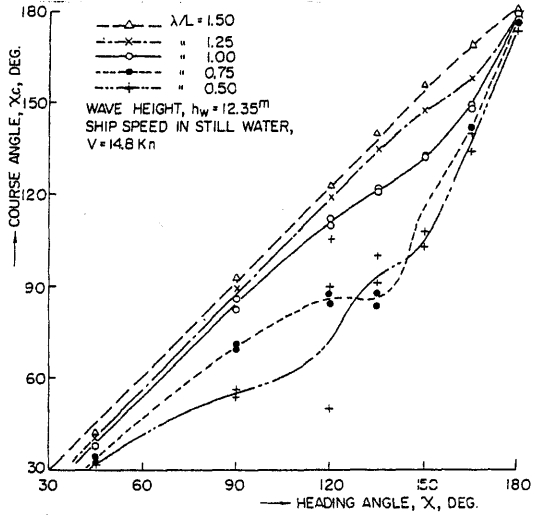


Fig. 8 Course Angle of the Ship in Oblique Waves

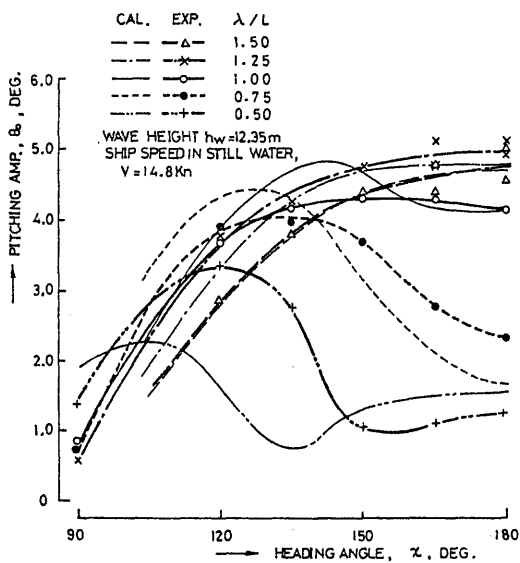


Fig. 9 Pitching

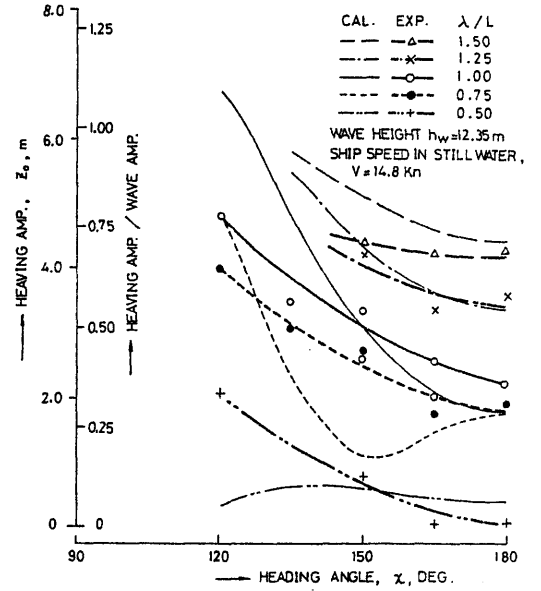


Fig. 10 Heaving

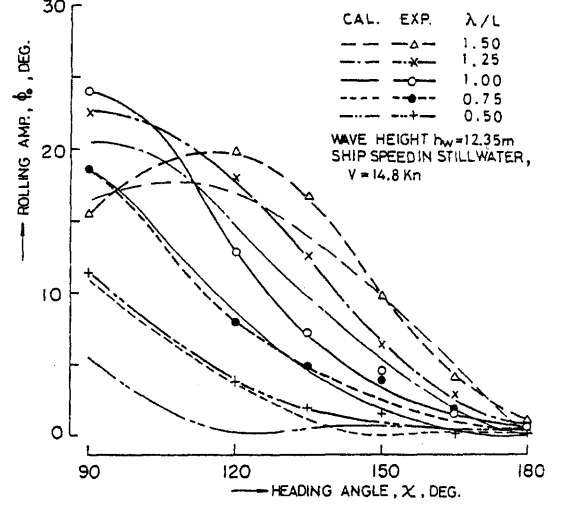


Fig. 11 Rolling

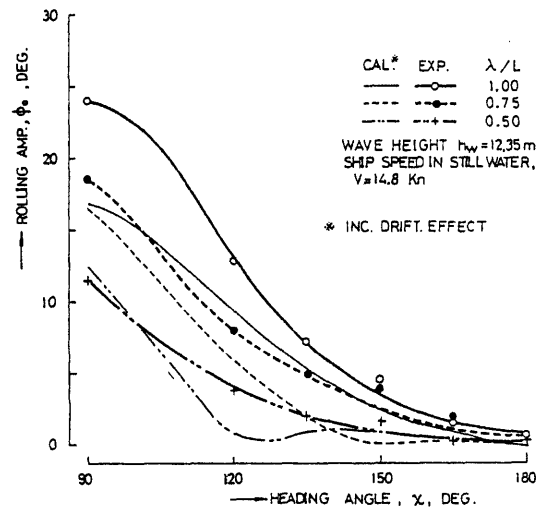


Fig. 12 Rolling (Including Drifting Effect)



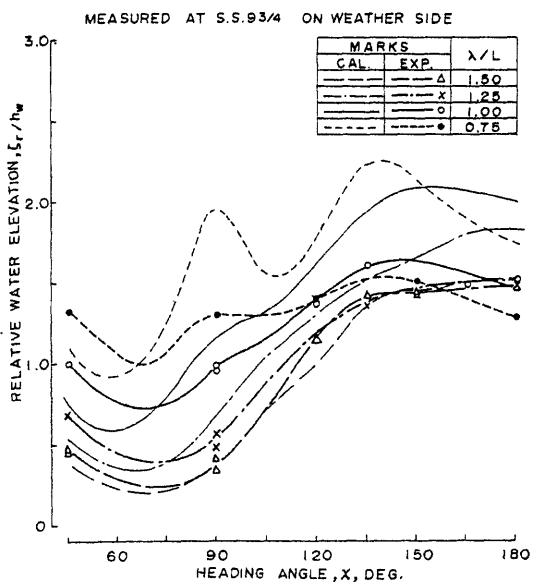


Fig. 13 Relative Water Elevation

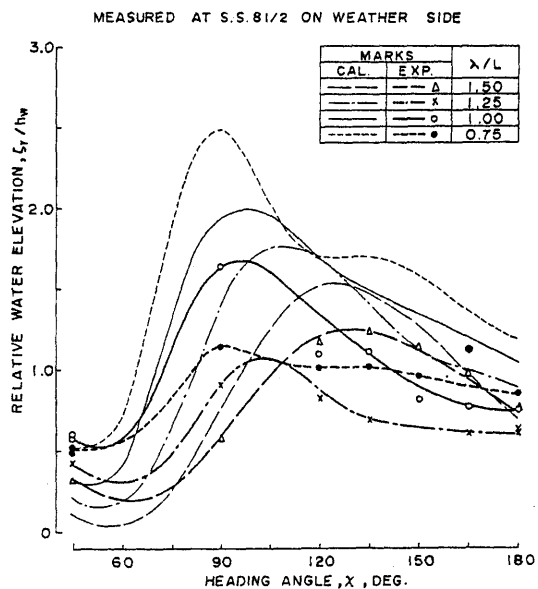


Fig. 15 Relative Water Elevation

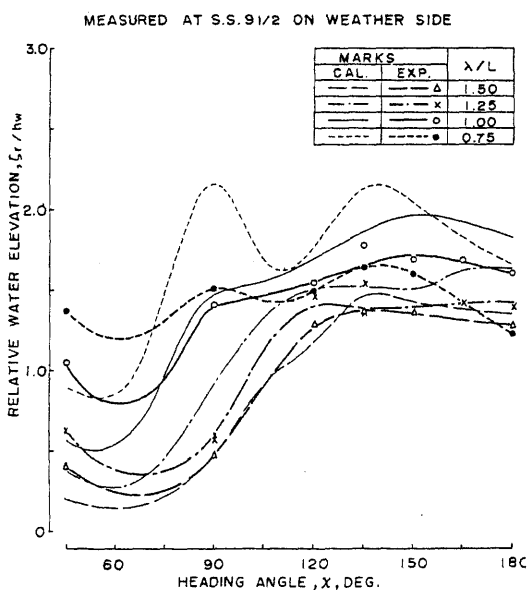


Fig. 14 Relative Water Elevation

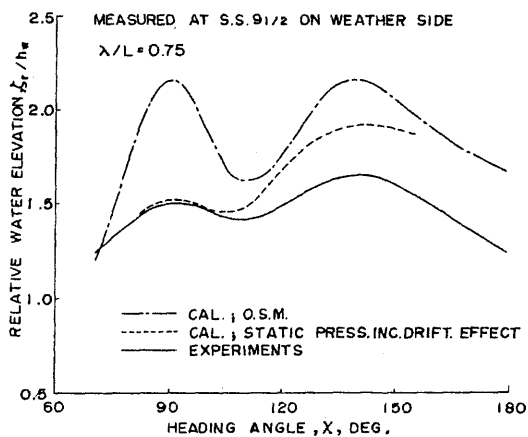


Fig. 16 Relative Water Elevation (Including Drifting Effect)

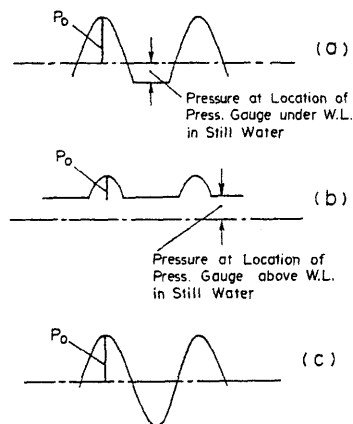
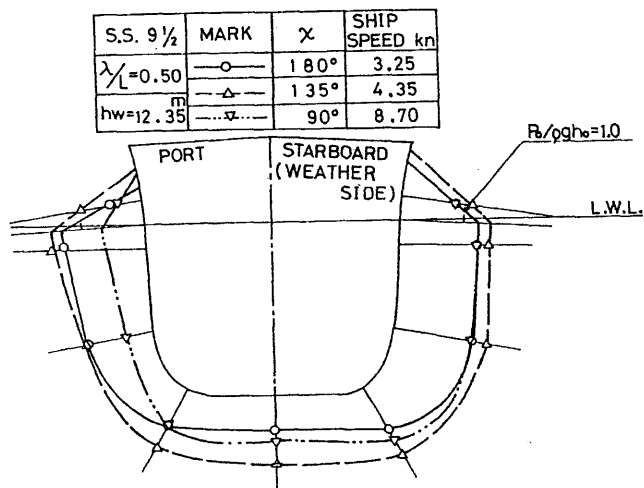
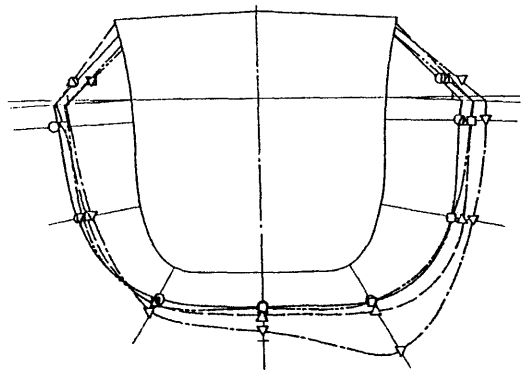


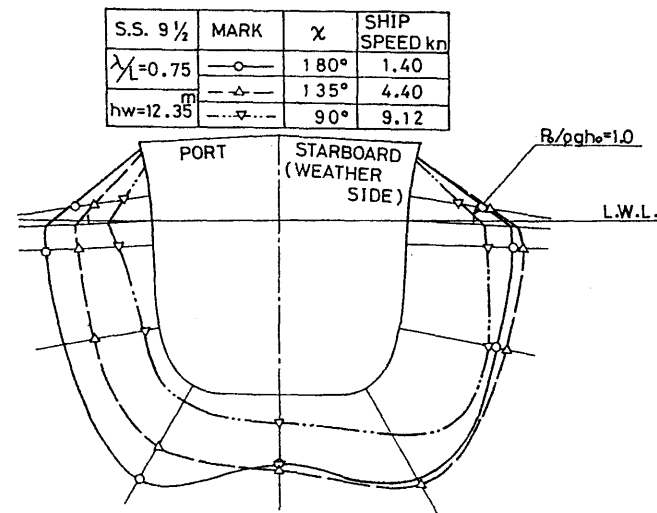
Fig. 17 Definitions of Amplitude of Hydrodynamic Pressures



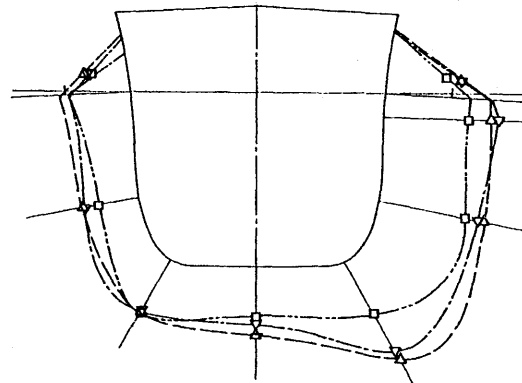
MARK	$\chi$	SHIP SPEED km
○	165°	4.00
△	150°	4.25
▽	120°	5.05
□	45°	12.50



( a )  $\lambda/L=0.50$



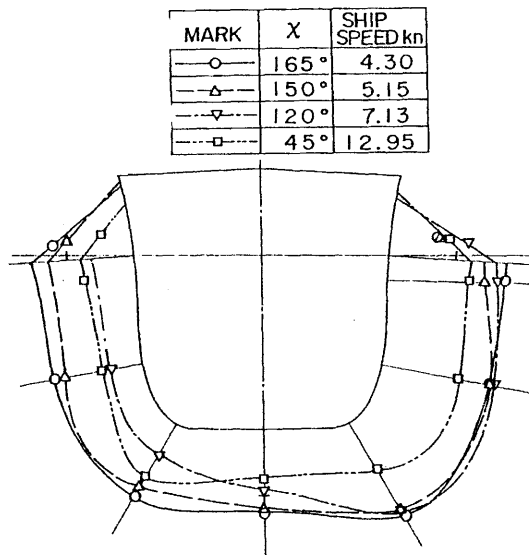
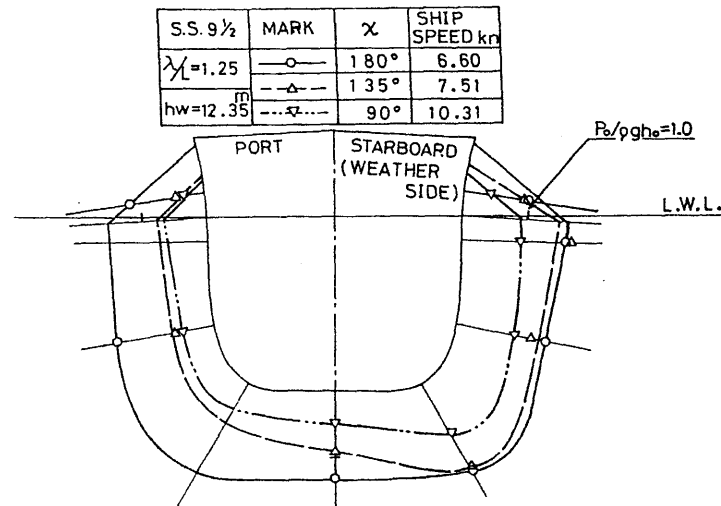
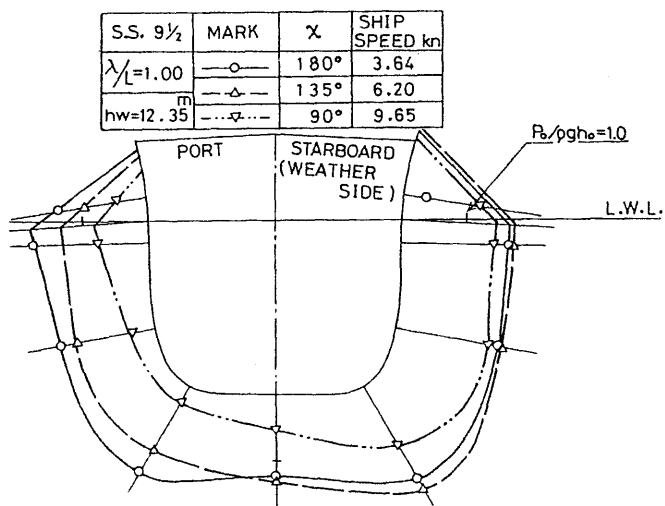
MARK	$\chi$	SHIP SPEED km
△	150°	4.30
▽	120°	5.20
□	45°	12.70



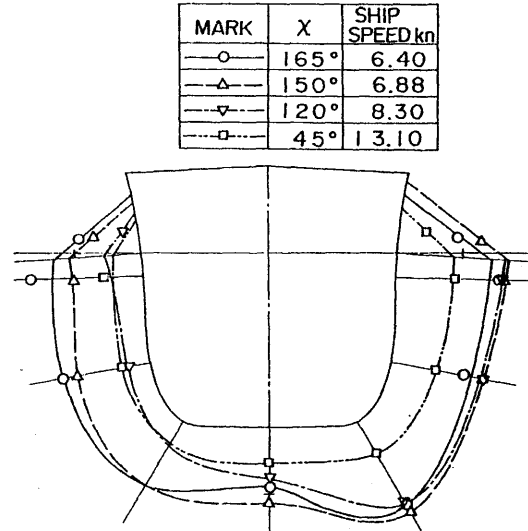
( b )  $\lambda/L=0.75$

Fig. 18 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

Fig. 18 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



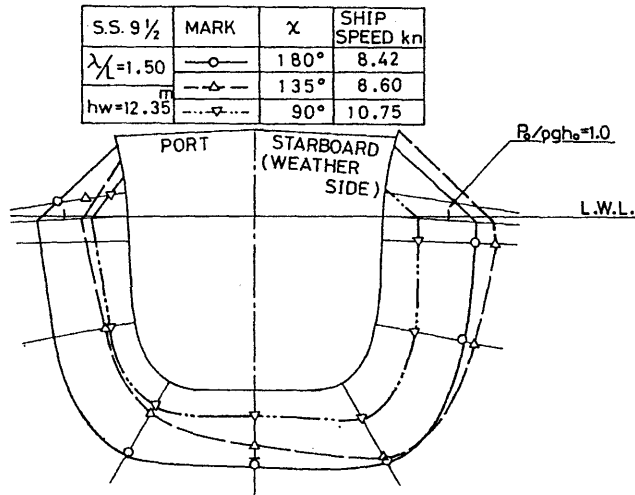
(c)  $\lambda/L=1.00$



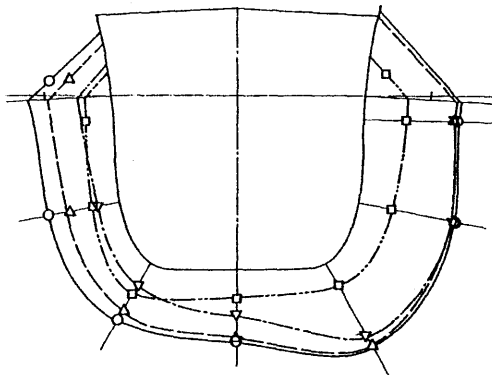
(d)  $\lambda/L=1.25$

Fig. 18 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

(270)



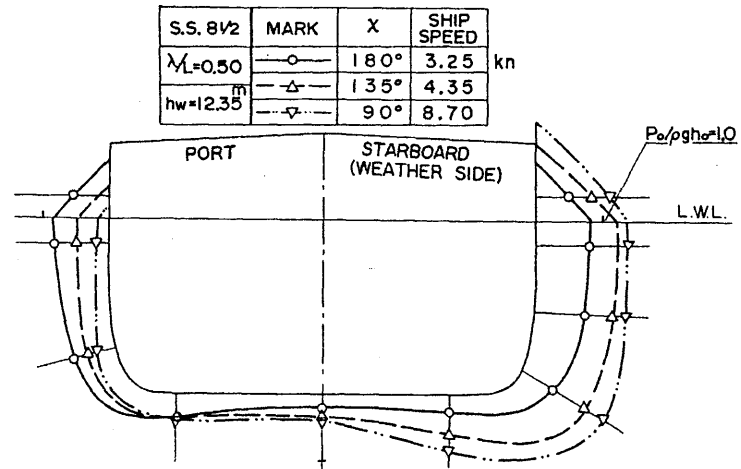
MARK	X	SHIP SPEED kn
○	165°	8.40
△	150°	8.27
▽	120°	9.13
□	45°	13.85



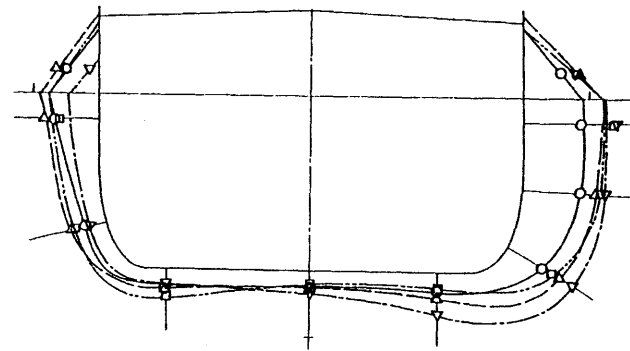
(e)  $\lambda/L=1.50$

Fig. 18 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

40



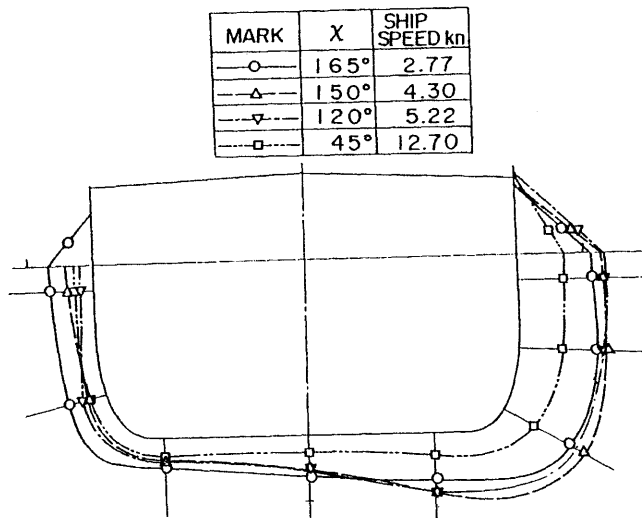
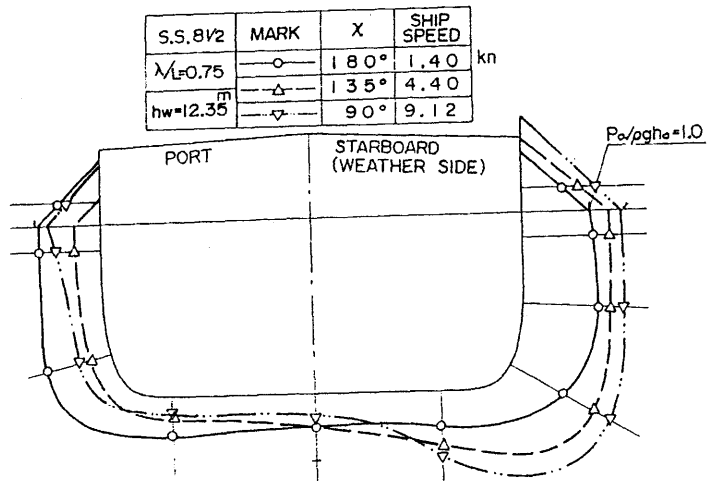
MARK	X	SHIP SPEED kn
○	165°	4.00
△	150°	4.25
▽	120°	5.05
□	45°	12.50



(a)  $\lambda/L=0.50$

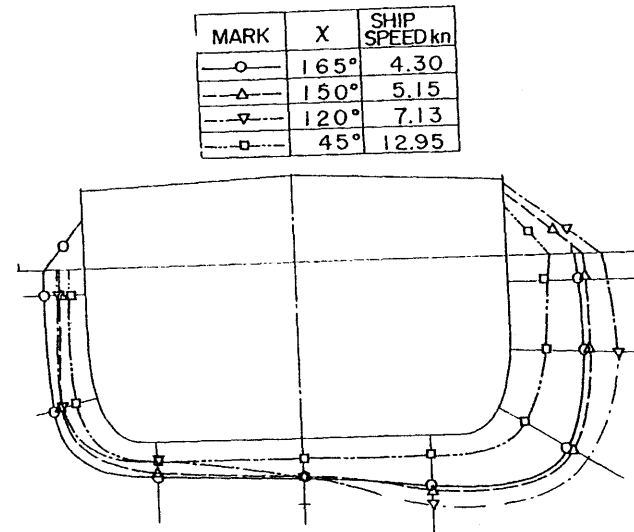
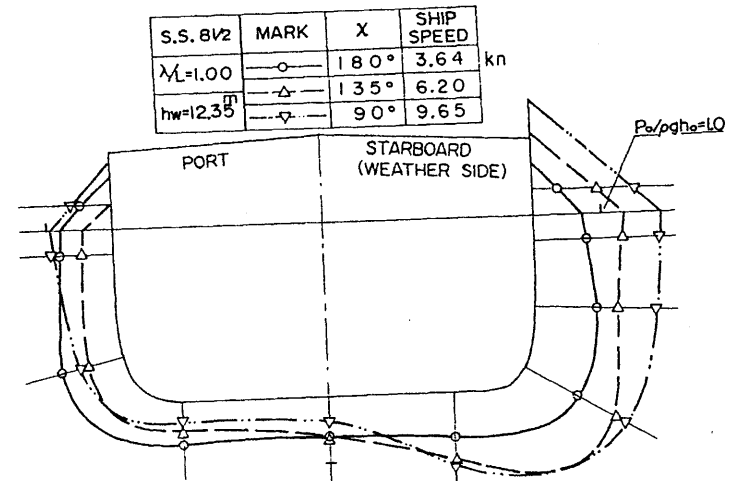
Fig. 19 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

Fig. 18 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



(b)  $\lambda/L=0.75$

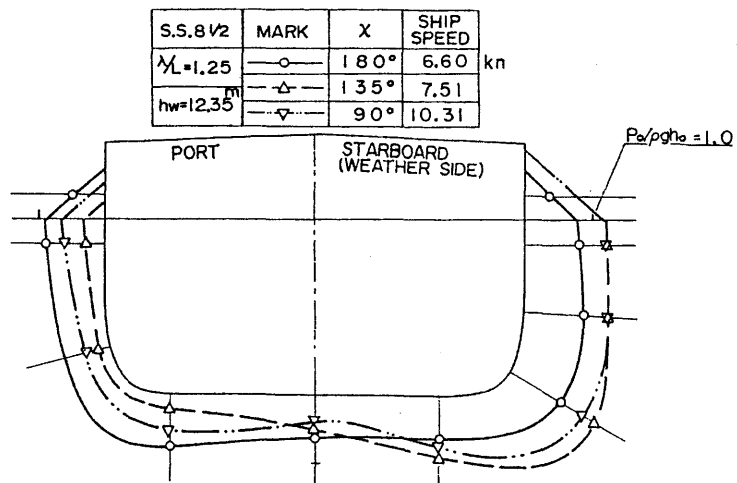
Fig. 19 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



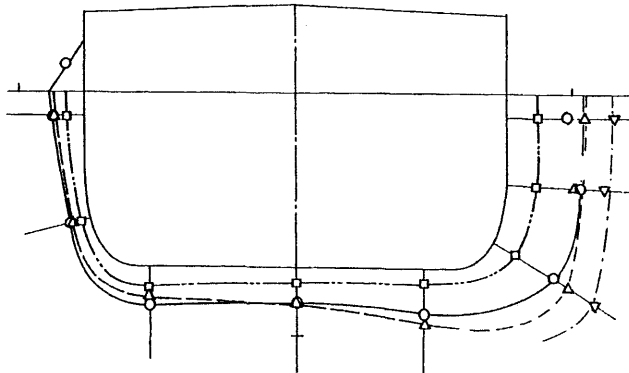
(c)  $\lambda/L=1.00$

Fig. 19 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

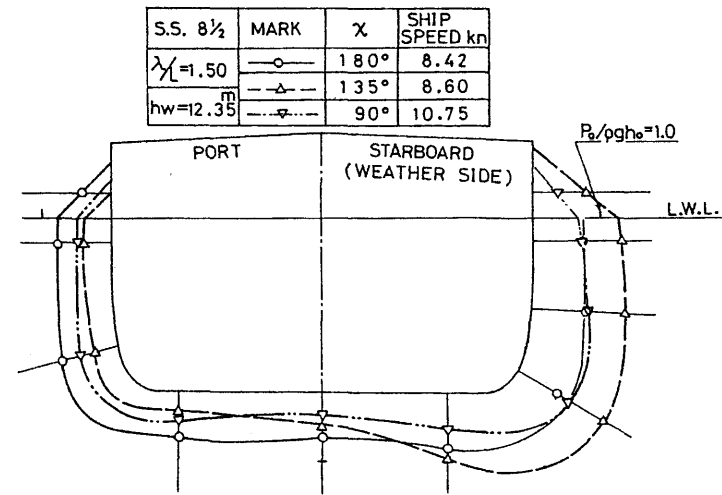
(272)



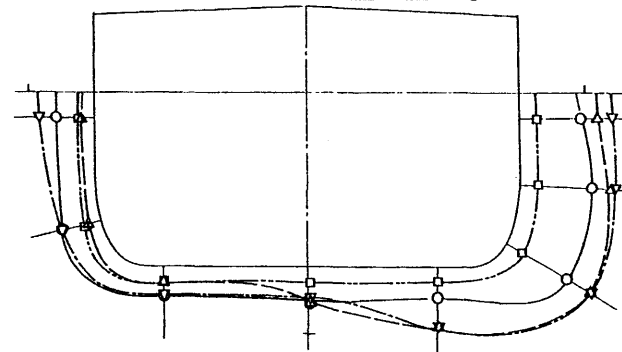
MARK	X	SHIP SPEED kn
○	165°	6.40
△	150°	6.88
▽	120°	8.30
□	45°	13.10



(d)  $\lambda/L=1.25$

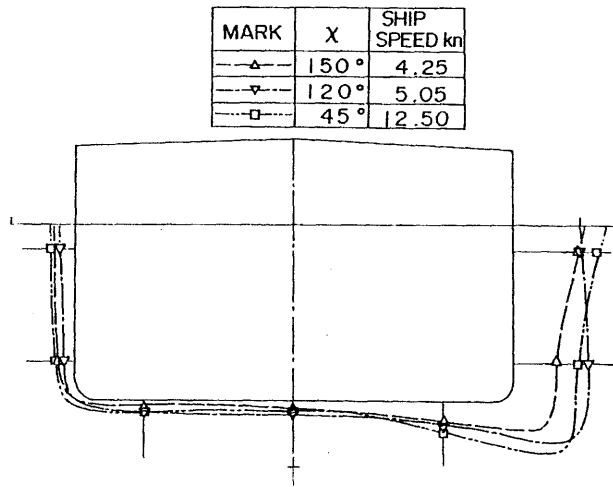
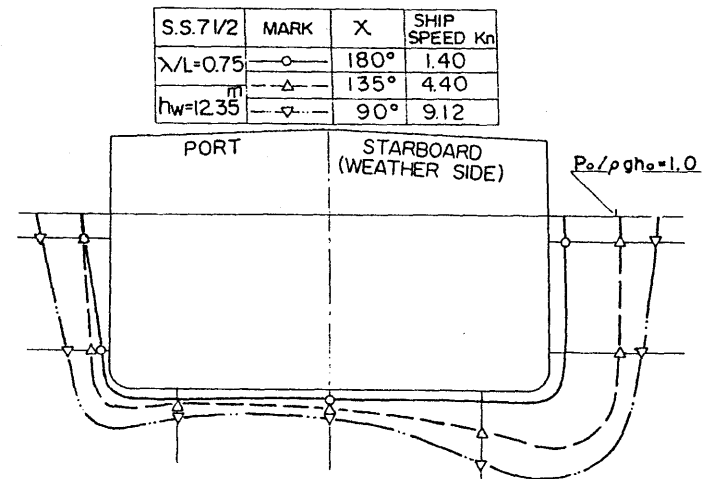
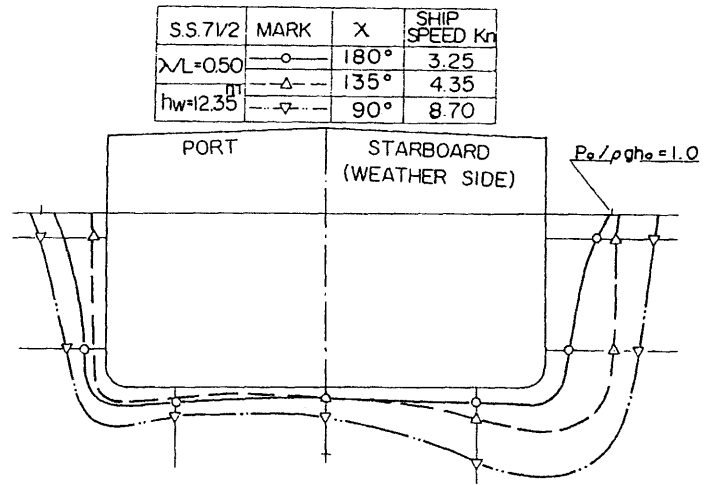


MARK	X	SHIP SPEED kn
○	165°	8.40
△	150°	8.27
▽	120°	9.13
□	45°	13.85

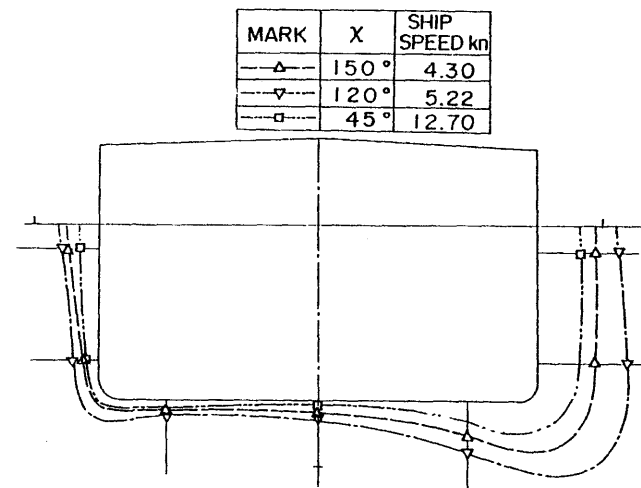


(e)  $\lambda/L=1.50$

Fig. 19 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



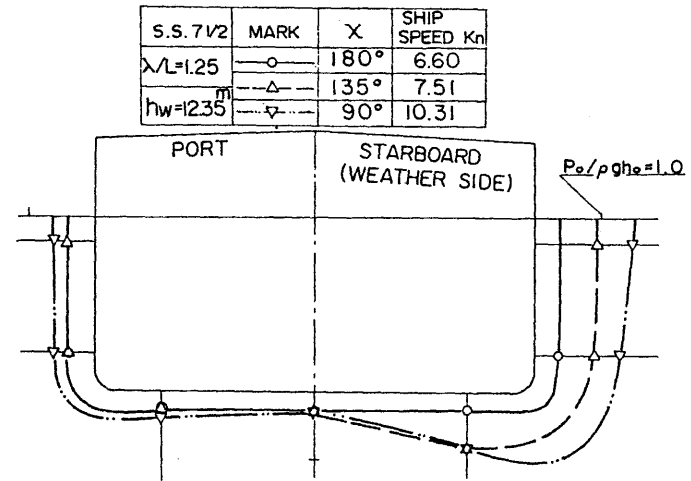
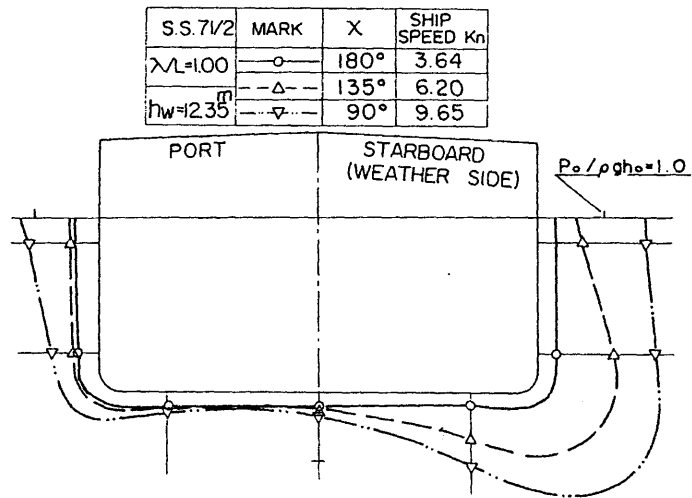
(a)  $\lambda/L=0.50$



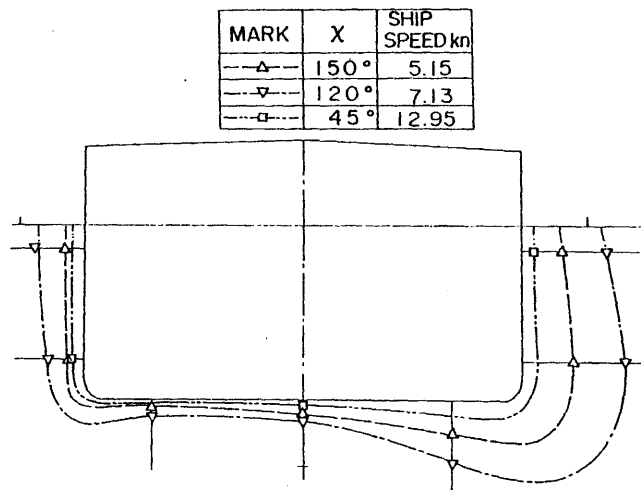
(b)  $\lambda/L=0.75$

Fig. 20 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

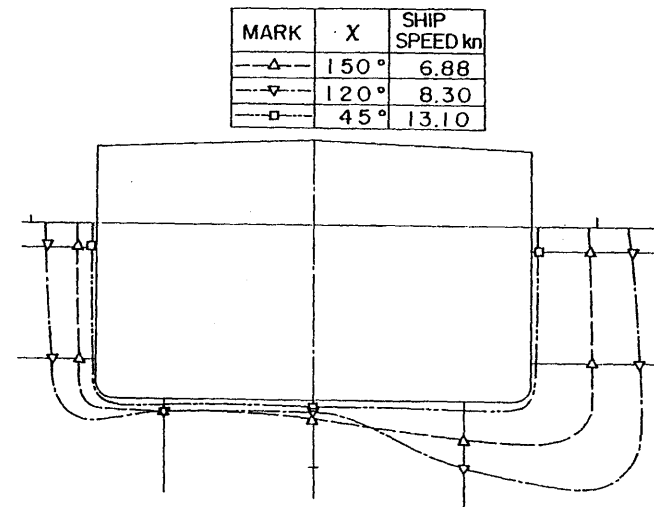
(274)



44



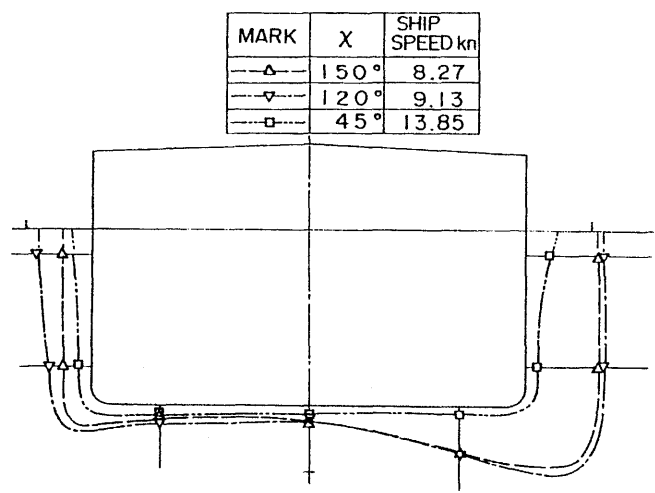
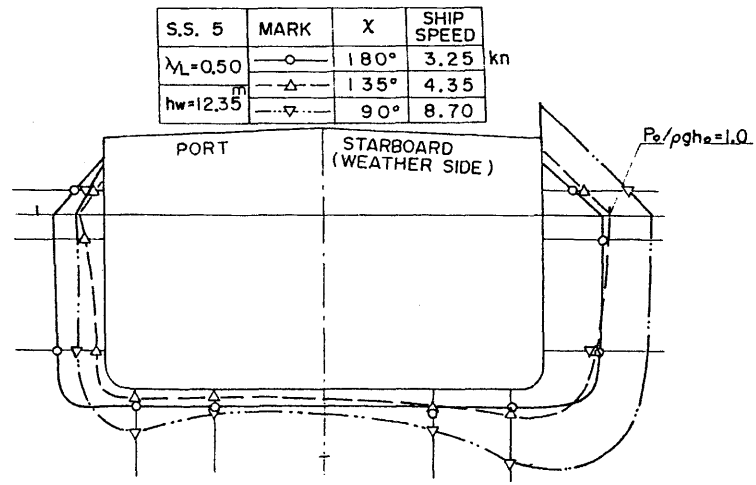
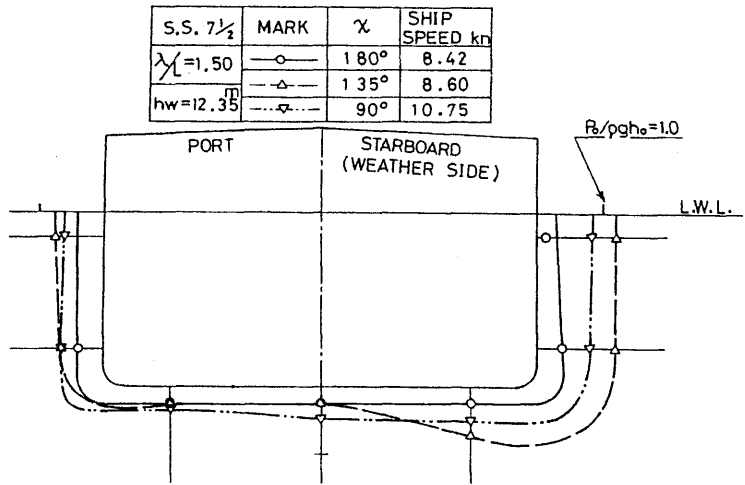
(c)  $\lambda/L=1.00$



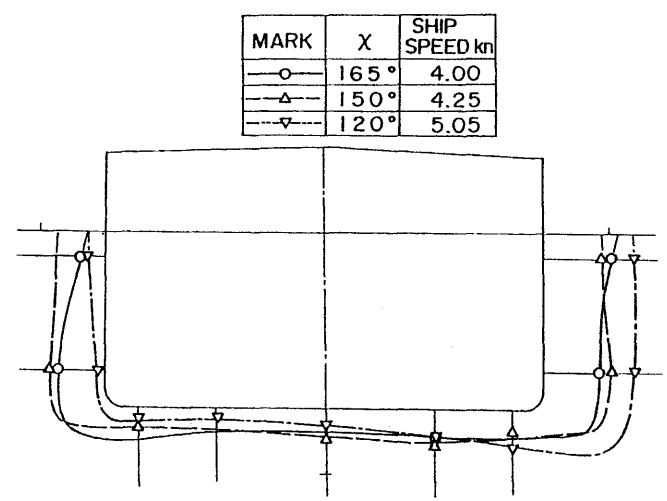
(d)  $\lambda/L=1.25$

Fig. 20 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude





(e)  $\lambda/L=1.50$



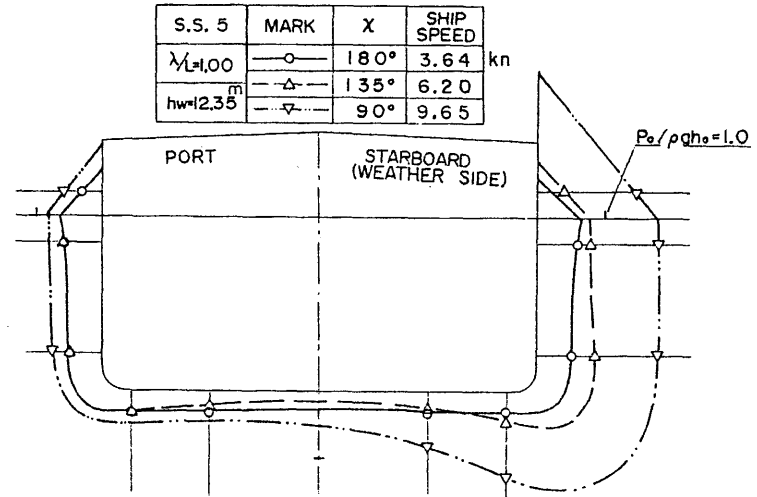
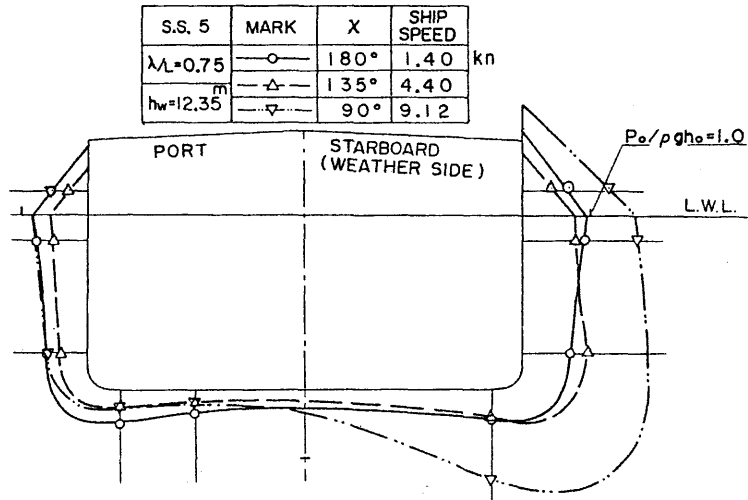
(a)  $\lambda/L=0.50$

Fig. 20 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

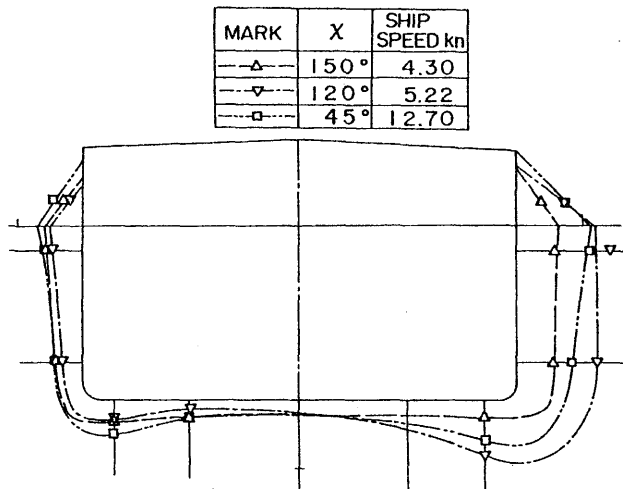
Fig. 21 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

(275)

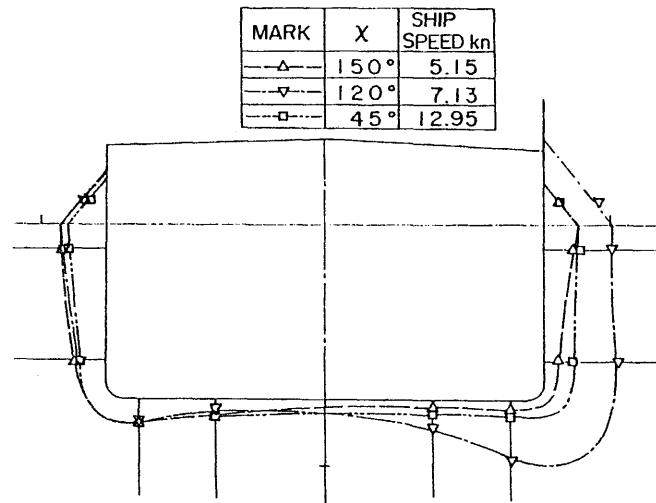
(276)



46



(b)  $\lambda/L=0.75$



(c)  $\lambda/L=1.00$

Fig. 21 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

Fig. 21 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

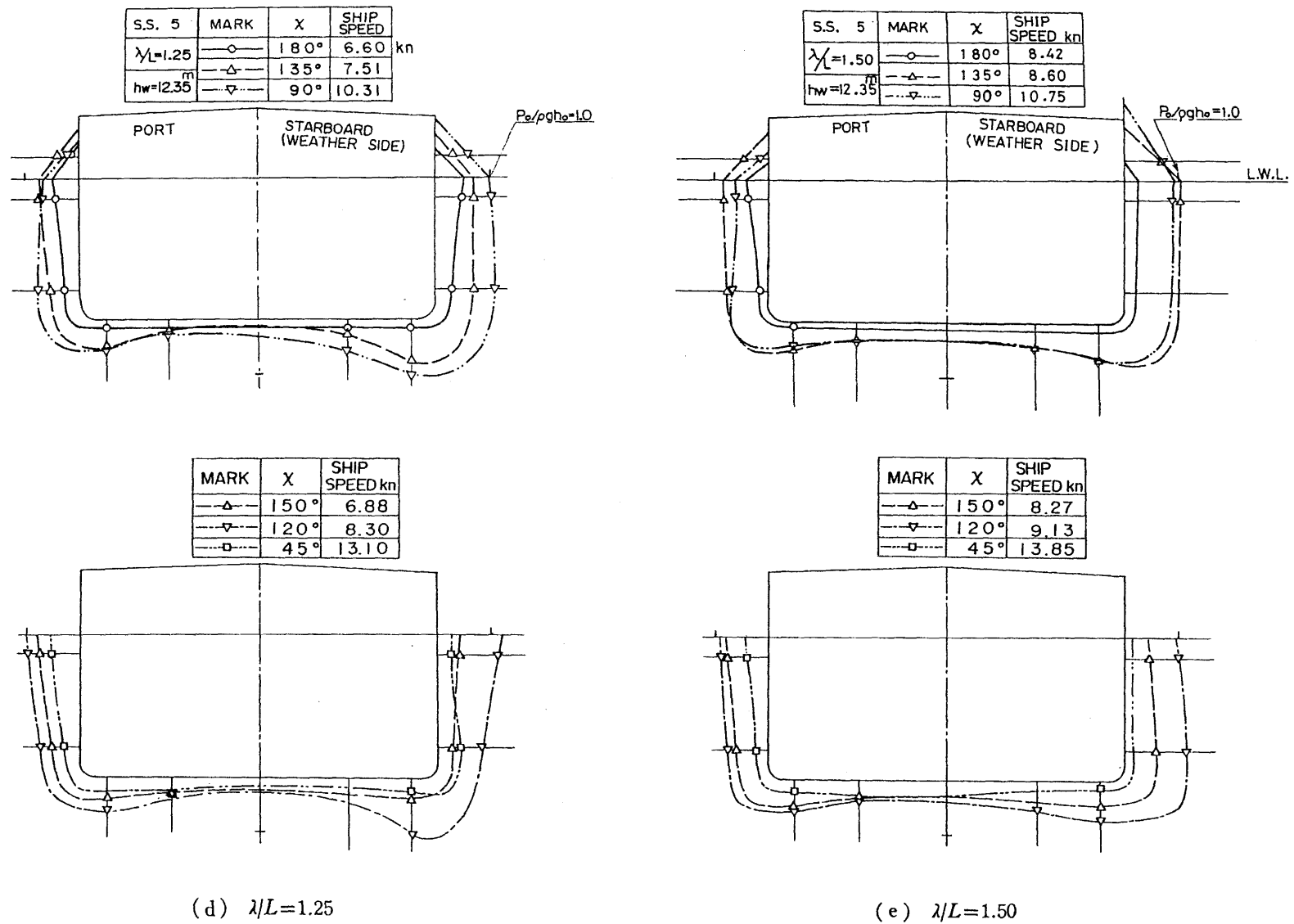
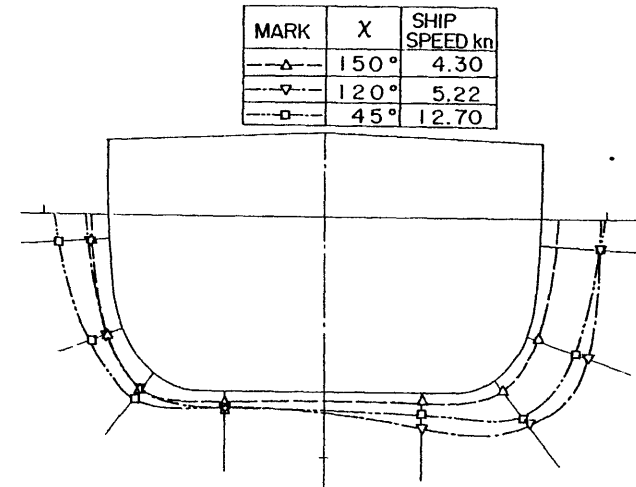
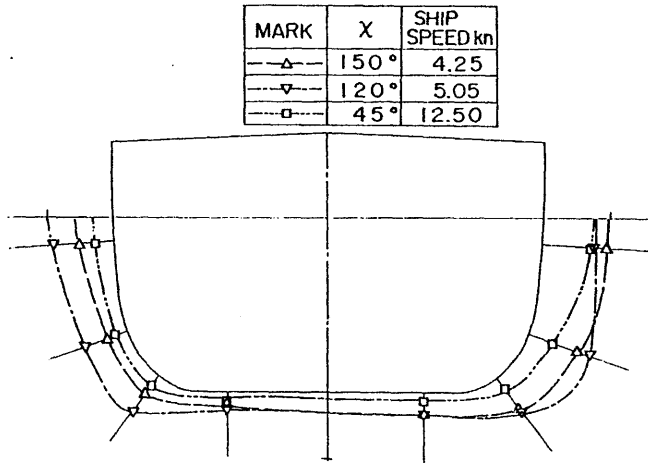
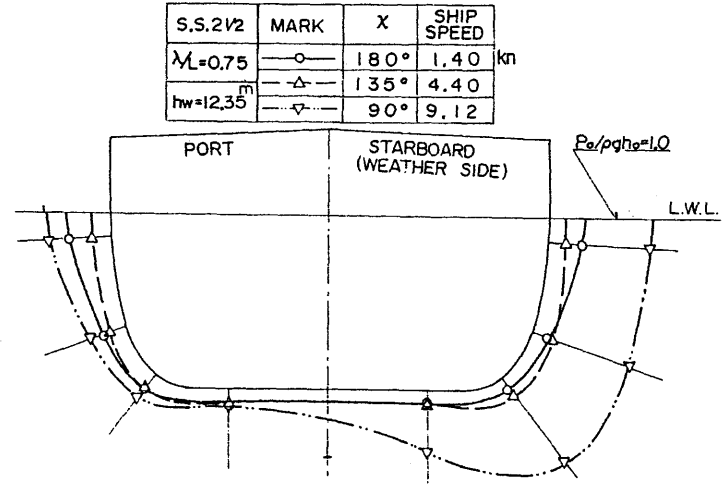
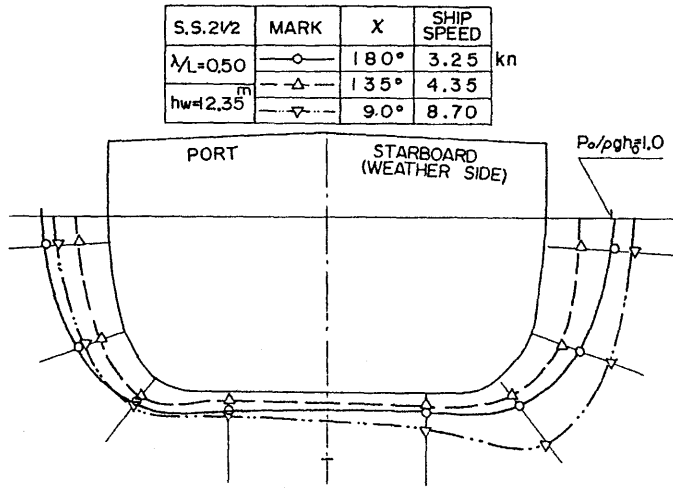


Fig. 21 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

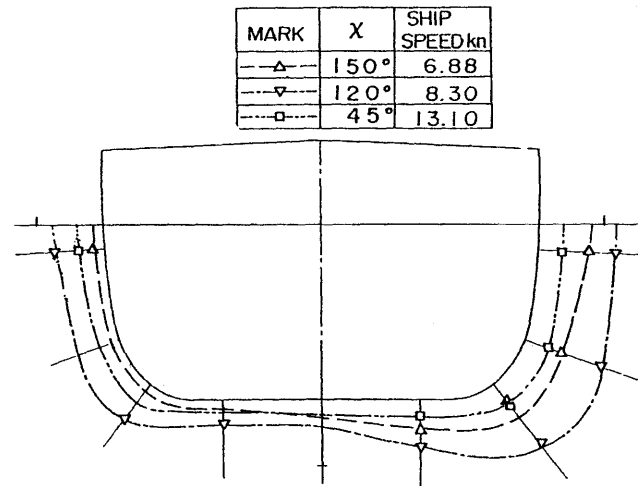
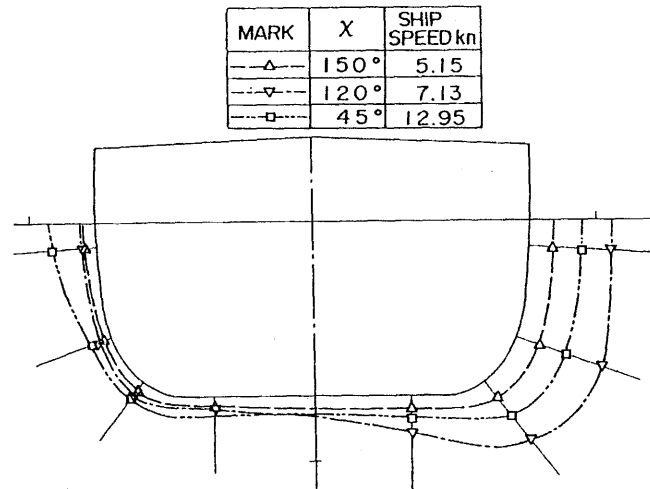
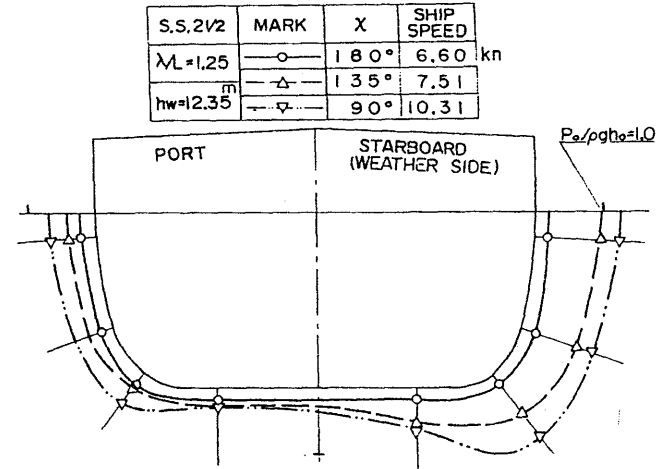
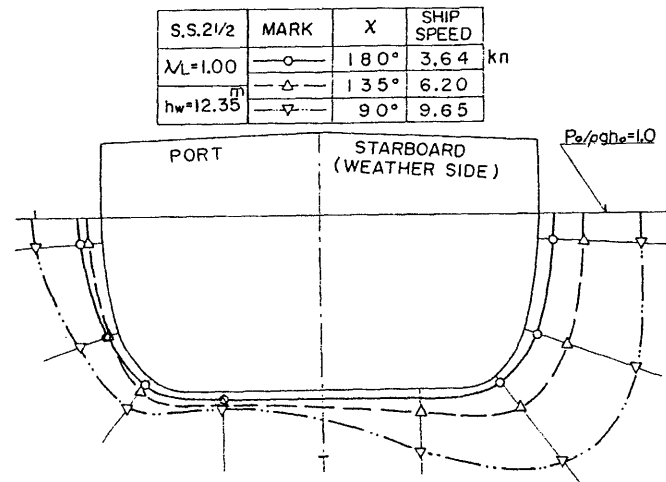


( a )  $\lambda/L=0.50$

( b )  $\lambda/L=0.75$

Fig. 22 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

Fig. 22 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

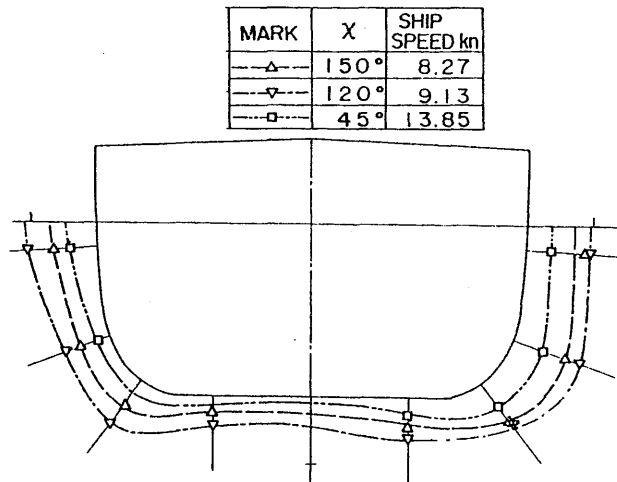
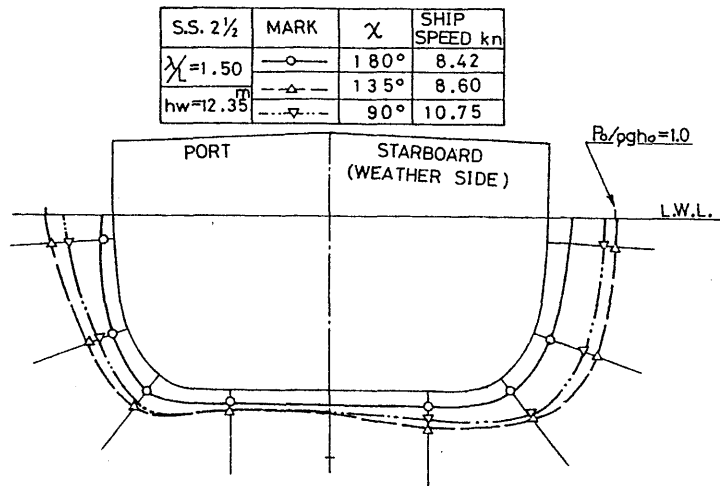


(c)  $\lambda/L=1.00$

(d)  $\lambda/L=1.25$

Fig. 22 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

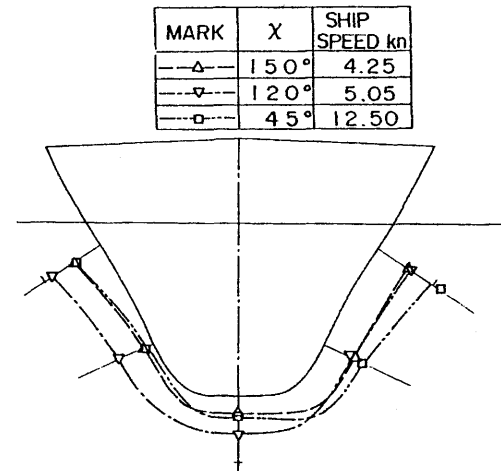
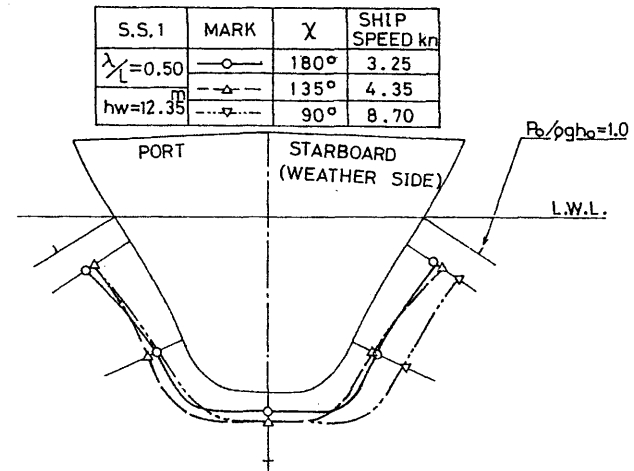
(280)



(e)  $\lambda/L=1.50$

Fig. 22 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

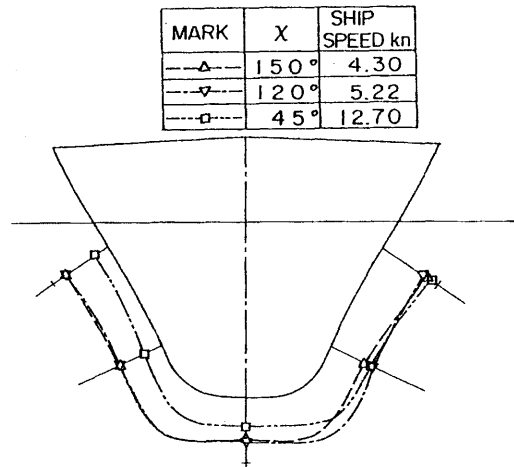
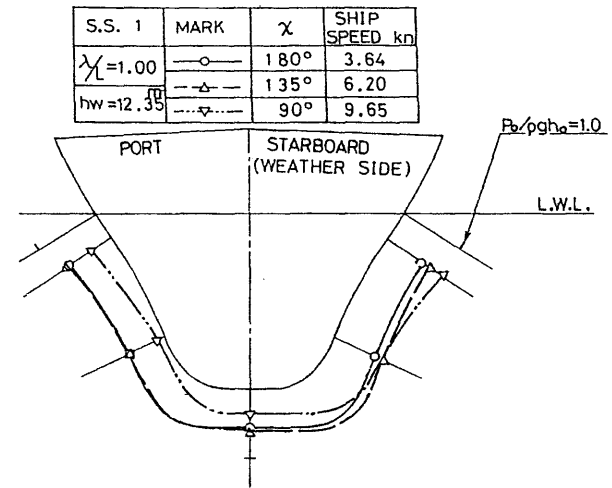
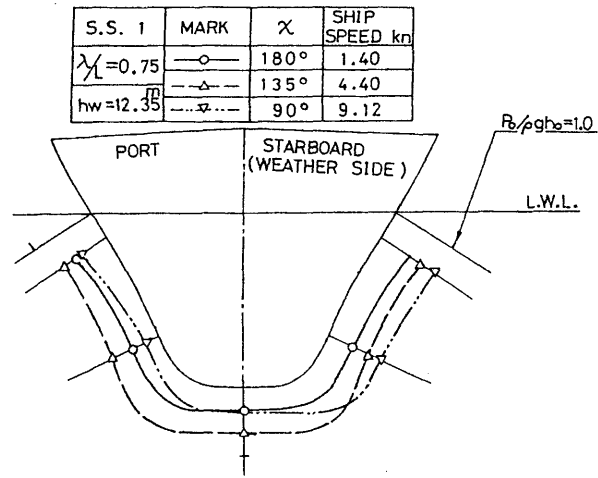
50



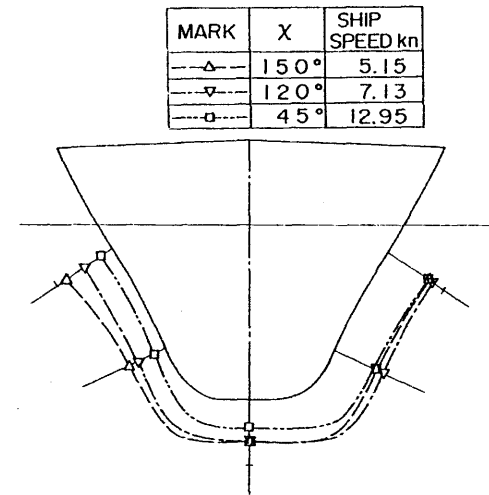
(a)  $\lambda/L=0.50$

Fig. 23 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

Fig. 22 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude

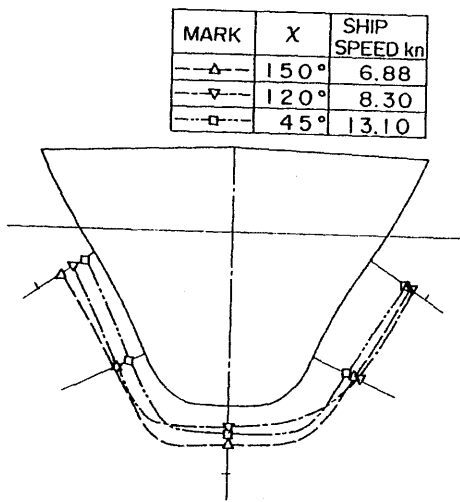
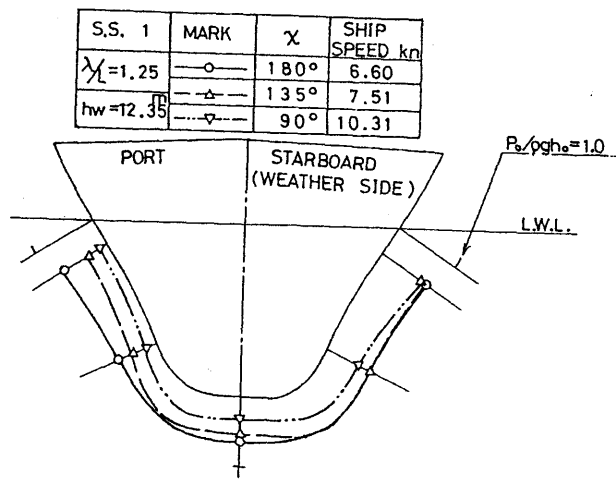


(b)  $\lambda/L=0.75$

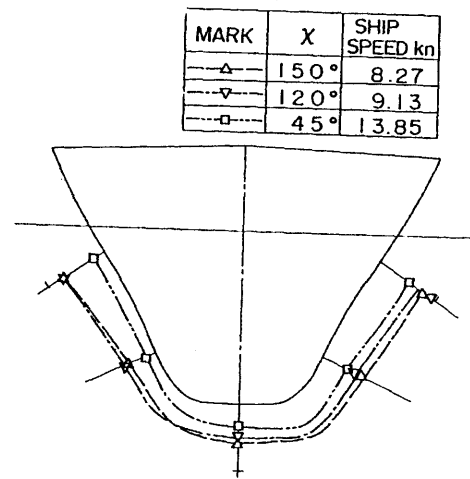
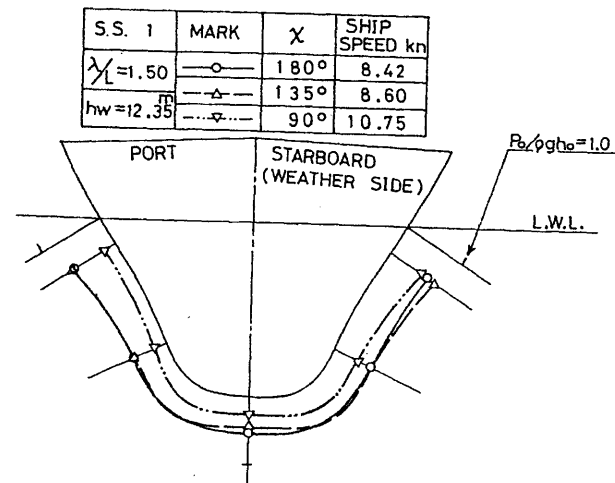


(c)  $\lambda/L=1.00$

Fig. 23 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



(d)  $\lambda/L=1.25$



(e)  $\lambda/L=1.50$

Fig. 23 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude



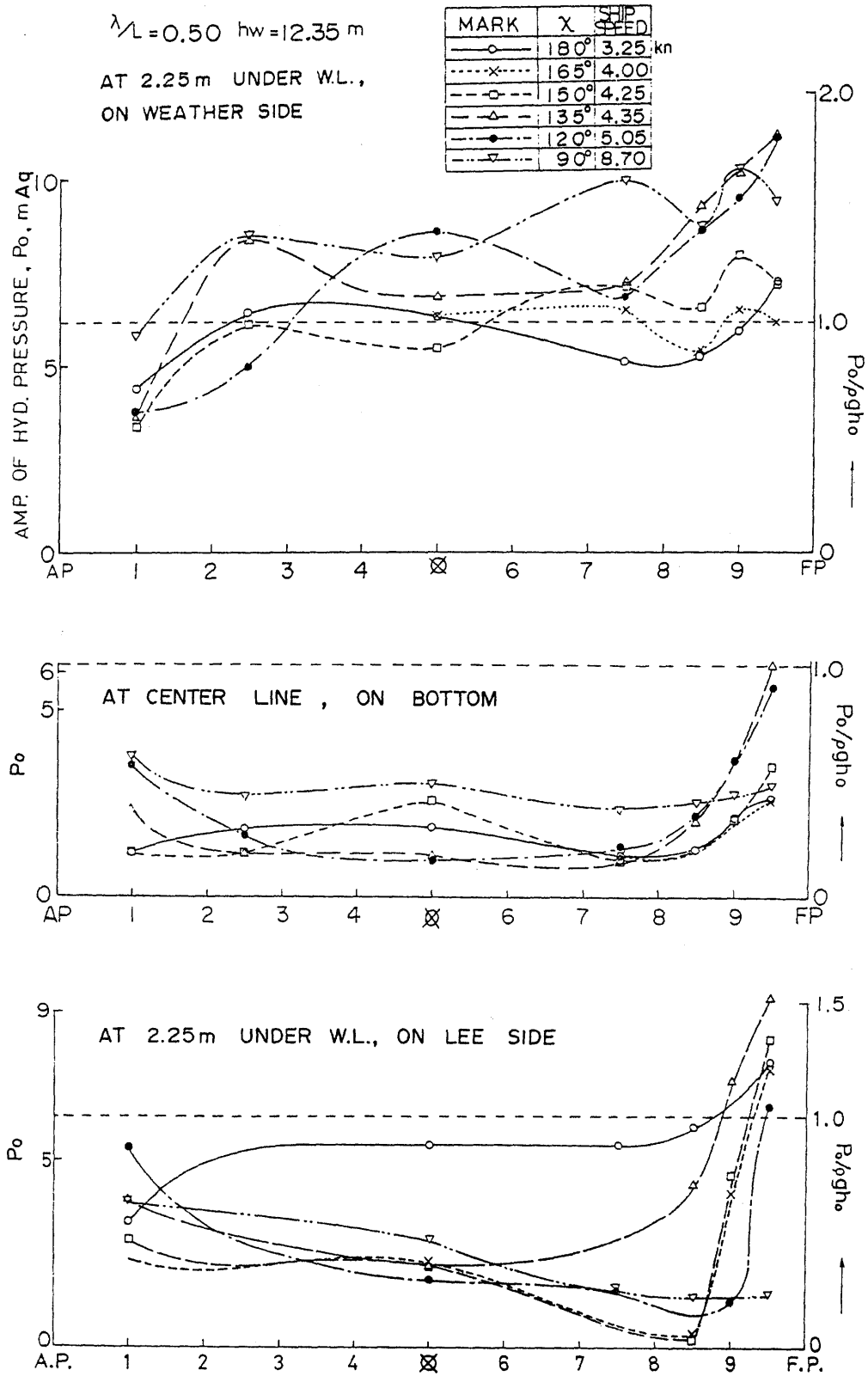


Fig. 24 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude  $\lambda/L = 0.50$

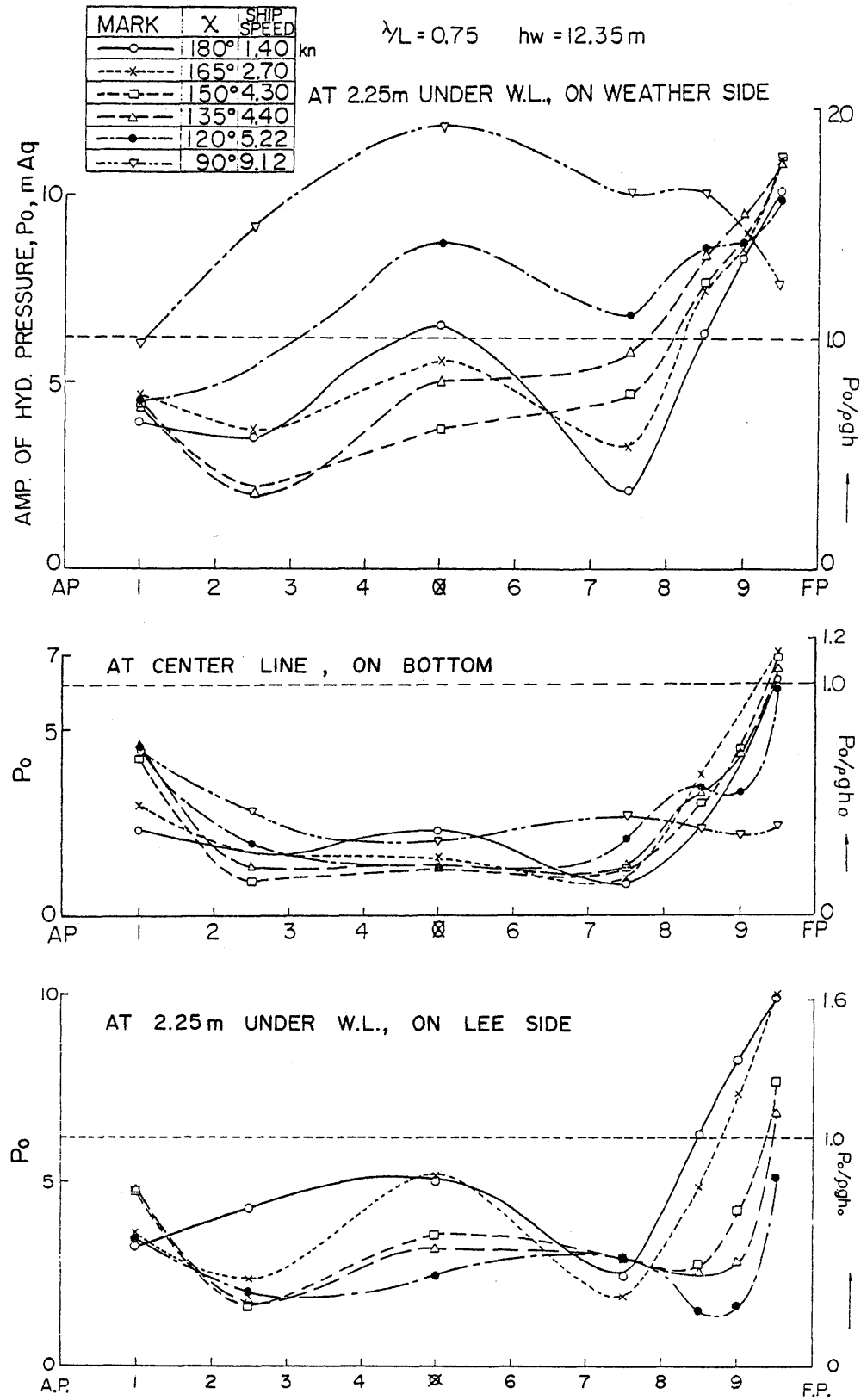


Fig. 25 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude  $\lambda/L=0.75$

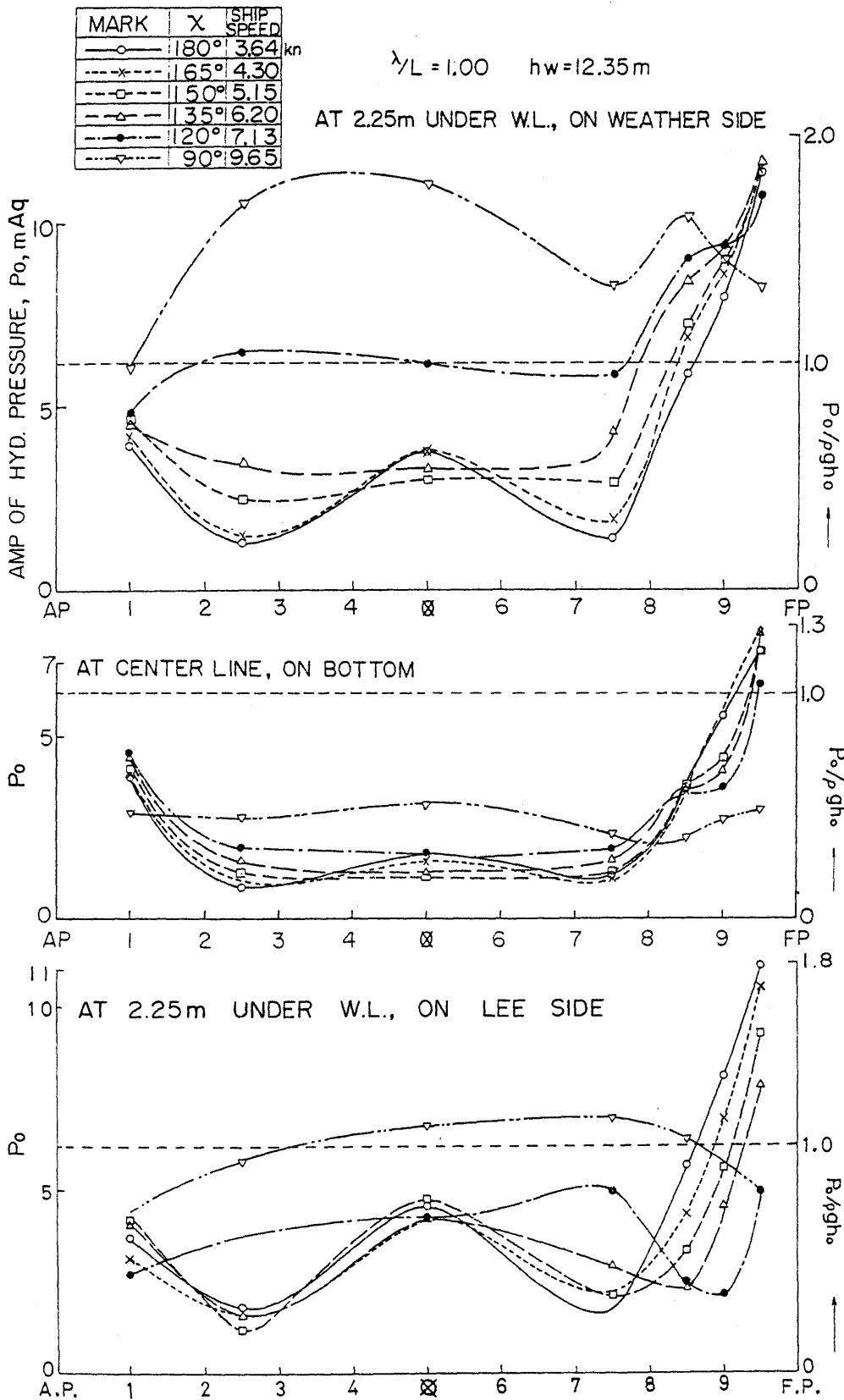


Fig. 26 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude  $\lambda/L=1.00$

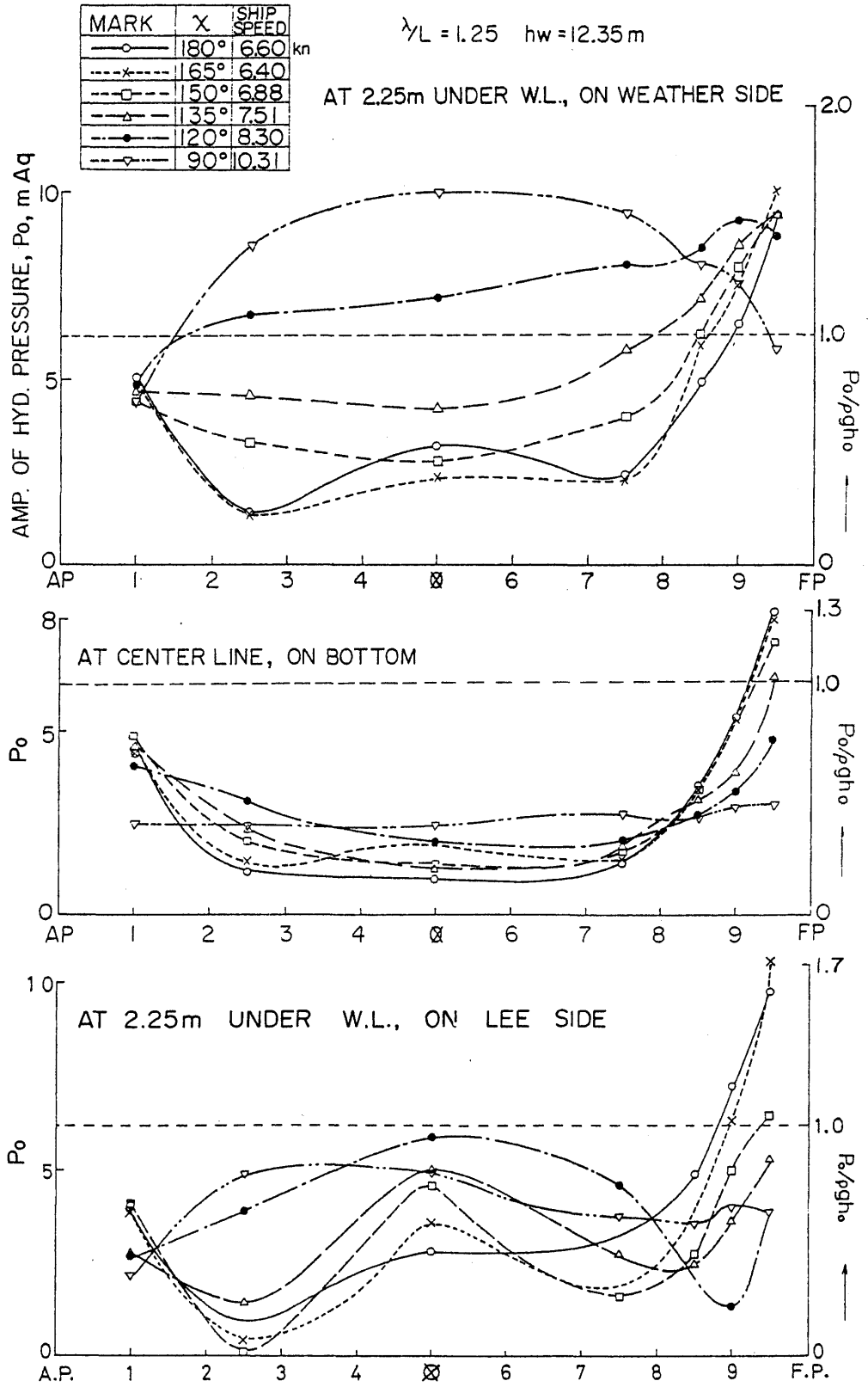


Fig. 27 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude  $\lambda/L=1.25$

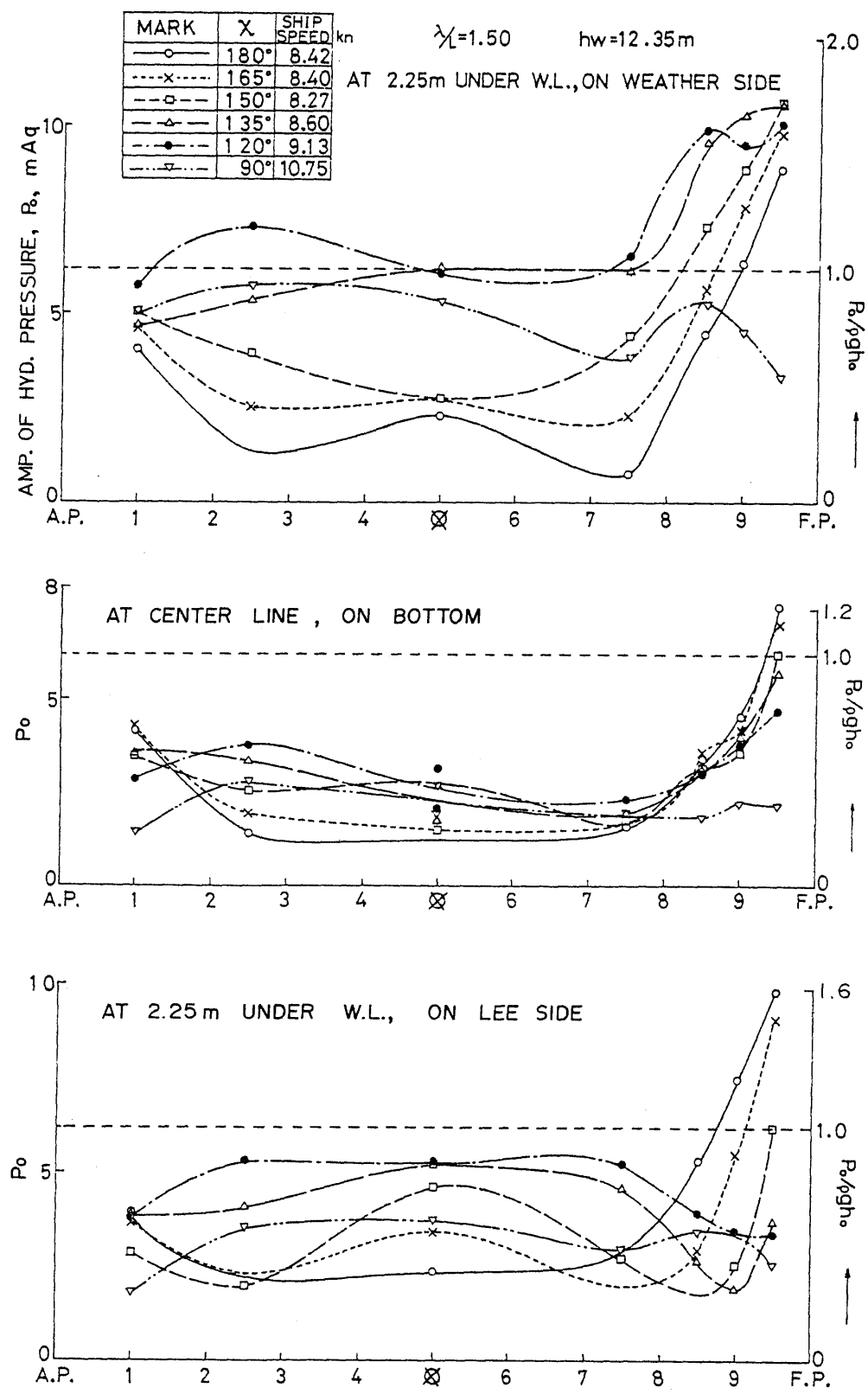
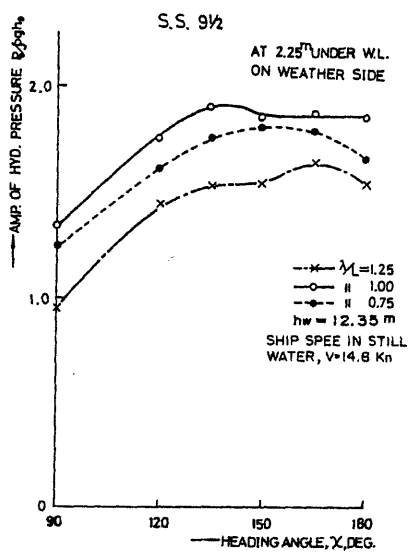
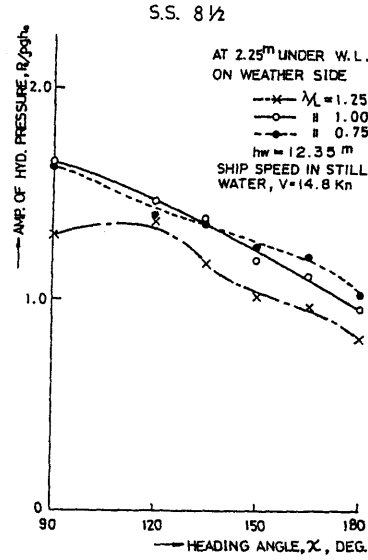


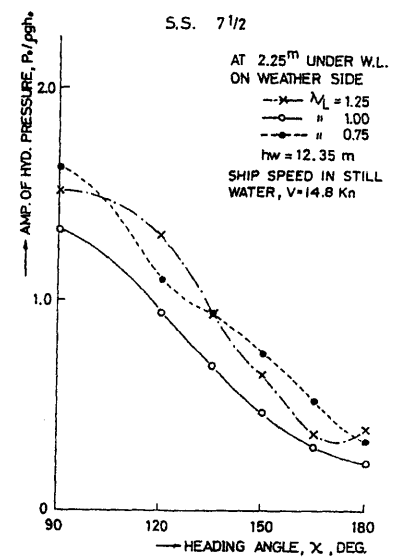
Fig. 28 Distribution of Hydrodynamic Pressure Amplitude  $\lambda/L = 1.50$



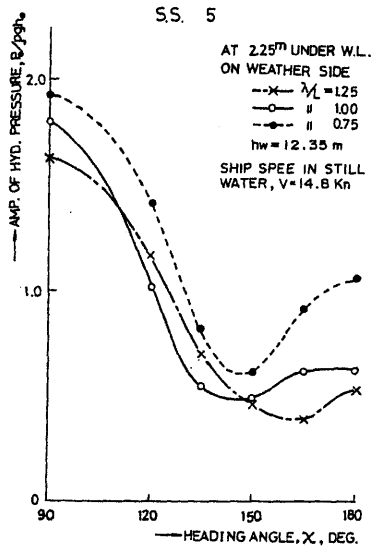
(a)



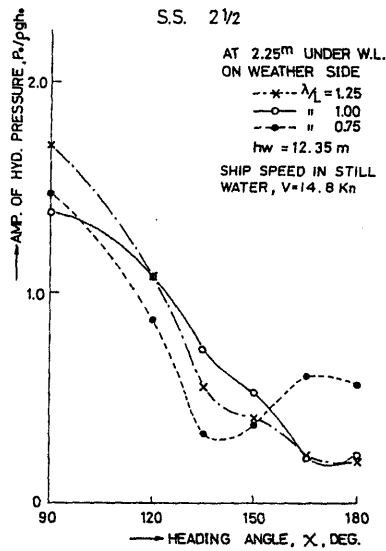
(b)



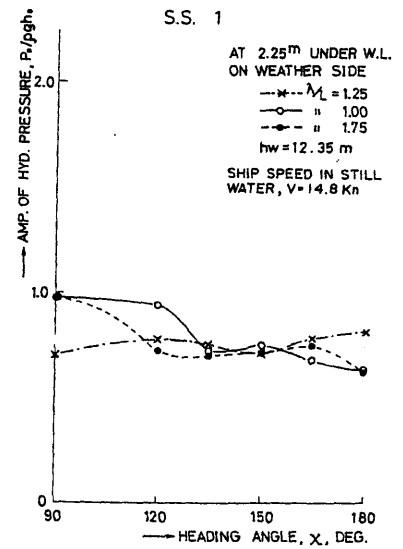
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 29 Hydrodynamic Pressure Amplitude v.s. Heading Angle