

日本船舶振興会昭和49年度補助事業  
“大型超高速船の開発に関する研究”

研究資料 No. 211

## 第125研究部会

### 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究

#### 報 告 書

昭和50年3月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

## は　し　か　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和49年度補助事業「大型超高速船の開発に関する研究」の一部として日本造船研究協会が第125研究部会においてとりまとめたものである。

### 第125研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	中村 彰一	(大阪大学)	相原 和樹	(三菱重工業)
副部会長	竹沢 誠二	(横浜国立大学)	小川 陽弘	(船舶技術研究所)
委員	安部 光弘	(三井造船)	萩沢 一清	(三菱重工業)
	岡本 洋	(川崎重工業)	岸本 修	(三井造船)
	鈴木 熟	(造船技術センター)	斎藤 公男	(大阪大学)
	北川 弘光	(船舶技術研究所)	瀬尾 敏一	(日本钢管)
	黒井 昌明	(日立造船)	高木 又男	(日立造船)
	滋野 正明	(佐野安船渠)	田上 嶽	(東京計器)
	高石 敬史	(船舶技術研究所)	田崎 亮	(石川島播磨重工業)
	首藤 保信	(日立造船)	田中 紀男	(大阪府立大学)
	田才 福造	(九州大学)	永松 秀一	(住友重機械工業)
	田添 英士	(大阪造船所)	八田 守江	(日本郵船)
	永野 優侃	(昭和海運)	毛利 武弘	(大阪商船三井船舶)
	永松 宣雄	(川崎重工業)	姫野 洋司	(大阪府立大学)
	花園 史郎	(函館ドック)	藤原 芳夫	(名村造船所)
	三井 明	(ジャパンライン)	前田 久明	(東京大学)
	藤井 齊	(三菱重工業)	元良誠三	(東京大学)
	細田 竜介	(大阪府立大学)	森川 卓	(日本船主協会)
	牧園 正孝	(山下新日本汽船)	山本 修	(日本钢管)
	森 正彦	(石川島播磨重工業)	井上 篤次郎	(神戸商船大学)
	山崎 芳嗣	(佐世保重工業)		
	山口 勇男	(日本海事協会)		

### 計算小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主任	高木 又男	(日立造船)	高石 敬史	(船舶技術研究所)
委員	黒井 昌明	(日立造船)	藤井 齊	(三菱重工業)
	田才 福造	(九州大学)	元良誠三	(東京大学)
	細田 竜介	(大阪府立大学)		
	山口 勇男	(日本海事協会)		

### 実船計測小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主任	竹沢 誠二	(横浜国立大学)	黒井 昌明	(日立造船)
委員	大川 豊	(船舶技術研究所)		

委 員	田 中 久仁雄	(石川島播磨重工業)	毛 利 武 弘	(大阪商船三井船舶)
	相 原 和 樹	(三菱重工業)	島 山 勝 則	(三菱重工業)
	星 楢 史 明	(ジャパンライン)	後 藤 隆 昭	(日本钢管)
	溝 口 純 敏	(石川島播磨重工業)	永 島 雄 吉	(日本钢管)
	鬼 木 博 文	(川崎重工業)	内 藤 林	(大阪大学)
	岸 本 修	(三井造船)	伊 藤 壽 治	(川崎重工業)
	朝 長 義 英	(三菱重工業)	山 本 修	(日本钢管)
	八 田 守 江	(日本郵船)	江 口 純 弘	(東京大学)
	前 田 久 明	(東京大学)	清 水 徹	(三菱重工業)
	山 下 保 己	(川崎重工業)	川 崎 邦 夫	(三井造船)
	永 野 倪	(昭和海運)	藤 本 幸 夫	(日本钢管)
	更 田 康 夫	(日本钢管)	山 内 八 郎	(日本钢管)
	高 木 幹 雄	(九州大学)	白 木 東	(日本钢管)
	川 口 升	(三菱重工業)	定 兼 広 行	(大阪府立大学)
	小 山 義 一	(三井造船)	宮 川 清	(横浜国立大学)

# 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 理論計算 .....	3
2.1 波浪中での限界速度 .....	3
2.1.1 対象船型 .....	3
2.1.2 項目および限界値 .....	3
2.1.3 限界値の判定基準 .....	3
2.1.4 計算結果と考察 .....	4
2.1.5 問題点と今後の課題 .....	4
2.2 シミュレーション計算 .....	11
2.2.1 航路の計算方法 .....	11
2.2.2 冬期北太平洋航海のシミュレーション計算 .....	11
2.2.3 実船の航海記録と計算の比較 .....	12
2.3 耐航性諸要素の計算とりまとめ .....	26
2.3.1 船 型 .....	26
2.3.2 計 算 項 目 .....	26
2.3.3 計 算 ケ ース .....	26
2.3.4 ロール・ダンピング .....	27
2.3.5 座 標 系 .....	27
2.3.6 その他の計算条件 .....	27
2.3.7 横揺れ長期予測の非線型修正 .....	27
2.3.8 計 算 例 .....	30
参考文献 .....	31
3. 模 型 実 験 .....	42
3.1 斜め波中の波浪圧力 .....	42
3.1.1 はしがき .....	42
3.1.2 変動水圧の実験と計算の比較 .....	42
3.1.3 不規則波中の衝撃水圧 .....	42
3.2 横揺れ減衰力 .....	43
3.2.1 はしがき .....	43
3.2.2 実験状態 .....	43
3.2.3 実験結果 .....	43
3.2.4 強制動揺試験との比較 .....	43
3.3 強制動揺法による横運動方程式の流体力係数の計測 .....	55
3.3.1 供試模型および実験状態 .....	55
3.3.2 実験結果の表示 .....	55
3.3.3 実験値と計算値の比較 .....	55
3.3.4 横揺れ減衰係数の実験式 .....	56

参考文献	57
3.4 波浪中の自動操舵	70
3.4.1 はしがき	70
3.4.2 実験状態	70
3.4.3 操舵振幅の実験値	70
3.4.4 船体運動に及ぼす自動操舵の影響について	70
参考文献	71
3.5 斜波中の抵抗増加に関する水槽試験	75
3.5.1 試験の目的	75
3.5.2 水槽試験	75
3.5.3 実験結果	75
参考文献	76
3.6 波浪中における推進性能に関する実験	85
3.6.1 はしがき	85
3.6.2 実験の種類	85
3.6.3 実験方法及び実験結果	85
参考文献	87
4. 実船試験	103
4.1 H.T.号による実船試験結果の解析	103
4.1.1 まえがき	103
4.1.2 航海状況	103
4.1.3 解析結果	104
4.2 N.J.丸による実船試験結果の解析	133
4.2.1 緒言	133
4.2.2 試験の概要	133
4.2.3 航海状況	134
4.2.4 一次解析	134
4.2.5 むすび	135
4.3 H.I.丸による実船試験(1次航)	147
4.3.1 経緯	147
4.3.2 供試船、試験期間、計測員	147
4.3.3 計測項目、計測装置および計測時刻	147
4.3.4 計測経過および感想	148
4.4 H.I.丸による実船試験(2次航)	157
4.4.1 計測員および関係者	157
4.4.2 計測期間および回数	158
4.4.3 計測項目	158
4.4.4 載荷状況	160
4.4.5 航海概況	160
4.4.6 計測概況	162
4.4.7 緒言	162
5. 結言	170

## 1. 緒 言

本研究は最近のコンテナ船の大型化、高速化の傾向に対応して、超高速コンテナ船の耐航性に関する諸問題を解明することを目的としている。すなわち超高速コンテナ船の波浪中就航時における船体運動や推進性能等の計測と、これに並行して模型実験及び理論計算を行い、船体運動によって誘起される海水打込み、プロペラ露出、スラミング、シャターなどの現象や、馬力増加、波浪荷重を解明し、この種船舶の波浪中特性を、船型、海象、運航状態と関連づけて把握し、基本設計時に必要な資料を求めようとするものである。また大波浪中における過激な船体運動あるいはそれに伴う諸現象を回避するために行う意識的な減速や変針など、荒天時における操船上の諸問題についても検討を加え、操船資料の一助としようとするものである。

以上のような目的で、昭和46年度から4年計画で実施され、本年度は最終年度として次のような研究を実施した。

### 1. 理 論 計 算

#### a) 波浪中の限界速度

船の限界速度を支配する諸要素をピックアップして、それぞれの限界値を調査し、計算によってそれら限界値の発現確率を求め、波浪中の限界速度について検討を行った。

#### b) 冬期北太平洋航海のシミュレーション計算

前年度までに用いられた各種ウェザーラーチンのプログラムを更に改良し、冬期北太平洋における航路のシミュレーション計算を行い、昭和45年度SR108の研究の一環として実施された「あめりか丸」及び「ごうるでんげいとぶりっじ」による実船実験の際の航路との比較を行った。

#### c) 耐航性に関する諸計算のとりまとめ

前年度までに実施された6自由度の船体運動、加速度、抵抗増加、海水打込み、スラミング、波浪外力など各種の耐航性要素に関する理論計算結果を再検討し、対象船型、計算項目、計算条件等を設定の上、シリーズ計算を行い、それらの結果のとりまとめを行った。

### 2. 模 型 実 験

#### a) 斜め波中の波浪圧力の解析

前年度船研角水槽で行った斜め波中の波浪圧力に関する模型実験結果に対し、規則波中の変動水圧に関する実験値と計算値との比較及び不規則波中の船首部衝撃水圧の頻度分布の解析を行った。

#### b) 横揺れ減衰力の計測

$L/B = 6.89$  の1軸コンテナ船型の相似模型船2隻を用い、船研角水槽で曳航中の自由横揺れ試験を行い、航走中の横揺れ減衰力を測定し、耐航性に関する理論計算に用いるデータを提供するとともに、次項の強制動搖試験法で求めた横揺れ減衰力と比較した。

#### c) 強制動搖試験法による横運動方程式の流体力微係数の計測

1軸コンテナ船模型を用い、九大応力研水槽でsway, yaw, rollの強制動搖試験を行い、横運動方程式の流体力微係数を求めるとともに、計算値との比較を行った。

#### d) 波浪中の自動操舵に関する模型実験

斜め波中の模型実験では船の方位及び進路を一定に保持する手段として自動操舵が用いられるが、その場合船と波との出会い周波数と同一の周波数で操舵することになり、操舵に伴う力が船体の応答に影響を及ぼす可能性があるので、船研角水槽において1軸コンテナ船型の模型実験により操舵角が船体運動、特に船首揺れ及び横揺れに及ぼす影響を調べ

た。

e) 斜め波中の抵抗増加に関する模型実験

1軸コンテナ船模型を用い、三菱重工業長崎研究所耐航性能水槽で、斜め規則波中を航走する場合の抵抗増加を計測し、前年度までに得られた理論計算結果と比較した。

f) 波浪中における推進性能に関する模型実験

1軸コンテナ船模型を使用し、阪大水槽において波浪中における推進性能に関する諸実験を昨年度に引き続き実施した。実験の種類としては、正面規則波中航走時における diffraction force の計測、船側、船尾における incident wave の波高減衰の計測のほか、正面不規則波中における抵抗試験、自航試験を行った。また波浪中におけるプロペラ単獨特性を調べるため、平水中でプロペラポートを強制動搖させた場合、規則波中固定の場合、没水深度を変えた場合のプロペラ単獨試験を実施した。

### 3. 実 船 試 験

- a) 昭和48年度実施した北米北西海岸航路コンテナ船「HT丸」及びニューヨーク航路コンテナ船「NJ丸」による実船試験結果について、本部会で開発された高速解析処理装置を使用して、統計極値解析及びスペクトル解析を実施した。
- b) 北米北西海岸航路コンテナ船「HI丸」に計測コンテナを搭載し、冬季連続2航海にわたり、船体運動、加速度、船首変動水圧、衝撃水圧、軸トルク等を計測するとともに、投棄式波高計による波高計測やレーダによる波向計測を行った。

## 2. 理論計算

### 2.1 波浪中の限界速度

船舶が波浪中を航行する場合、船体動搖、加速度、海水打ち込み確率、スラミング発生確率あるいは波浪荷重等がある値以上になると、船体、人命、貨物の安全を確保するために、減速、変針などの適当な操船を行なう必要が生ずる。このような危険を避けるための船速低下が、*deliberate loss of speed*<sup>1)</sup>と言われているものである。

しかしながら、実際にどの程度減速すれば安全性は保証されるのか、あるいは変針の効果はどの程度あるのか等については、明らかでない点が多い。

ここでは高速コンテナ船を対象として、まず船の限界速度を支配する諸要素をピックアップして、それぞれの限界値を調査した。そして、計算によってそれら限界値の波浪中での発現確率を求め、波浪中での限界速度についての検討を行なった。

#### 2.1.1 対象船型

SR108一軸高速コンテナ船 S7-175<sup>2)</sup> GM=1.0 m (低船首樓型船) を対象とした。又、安全サイドをとる意味でコンテナはデッキ上3段積とした。船の主要目については2.3を参照されたい。

#### 2.1.2 項目および限界値

Table 2.1.1に示す各項目について検討した。

ピューフォート海象(6, 7, 8, 9, 10)で、短波項不規則波中での諸要素の限界値の発現確率を計算し、それによって限界速度を定めた。

#### 2.1.3 限界値の判定基準

##### ① F.P.上下加速度

◦限界値：0.8 g ……コンテナ強度JIS(Z1618-1972)による。

◦発現確率： $10^{-3}$  (約2時間毎1回)

◦コンテナはF.P.までは搭載されないが、安全サイドである。

##### ② スラミング

◦発現確率：0.01 ……文献3)参照

◦threshold velocity は次式<sup>3)</sup>より推定した。

$$V_{th} = 0.09 \sqrt{gL} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1.1)$$

##### ③ F.P.海水打ち込み

◦発現確率：0.02 ……文献3)参照

◦船研での模型実験結果より、船首波による水位上昇を考慮した。有効乾舷は、Table 2.1.2のようである。

##### ④ 縦曲げモーメント

◦限界値：類似船型の設計基準を参考にして、許容波浪荷重を70,000 t-mと推定した。

◦発現確率： $10^{-5}$  (約東京～ロスアンゼルス片道に相当)

##### ⑤ プロペラ露出

◦限界値：資料SR125-19-13の実験結果によると、プロペラの上端が露出すると大きなトルク変動が発生するところ察できるので、プロペラ上端露出(静水中航走時の相対水位上昇を考慮する)を限界とした。

◦発現確率：ガバナーが頻繁に作動する  $\rho = 0.1$  を限界とした。

◦静的水位上昇は文献4)を参考にして

$$\zeta_s = 20.0 \text{ } F_n^2 \text{ (m)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1.2)$$

で近似した。

- 。従来、プロペラ露出の限界としては $\frac{1}{3}D$ <sup>3)</sup>（静水中航走時の相対水位上昇を考慮しない）が一般に採用されているので、これを限界とした場合も参考のために計算した。

#### ⑥ 8 1/2左右加速度（重力成分を含む）

- 限界値：0.6 g…………コンテナ強度JIS（Z1618-1972）による。
  - 発現確率： $10^{-3}$ （約4時間に1回）
  - 計算位置はkeel上方24mであり、これは最上段のコンテナのほぼ中間位置である。

⑦ 横揺れ

- 限界値：Lines より、静的復元挺曲線及び海水流入角（Bulwark Top）を計算し、Fig.2.1.1 に示すように C2 示数の考え方<sup>5)</sup>を使って限界横揺れ角を定めた。真横から風を受ける場合の定常風による heel 角及び限界横揺れ角を Table 2.1.3 に示す。
  - 発現確率： $10^{-3}$ （約 4 時間に 1 回）
  - 横揺れの応答関数は線型ダンピングで計算した。

## 2.1.4 計算結果と考察

Fig. 2.1.2 から Fig. 2.1.9 には、各項目について限界速度を計算した結果を、Fig. 2.1.10 と Fig. 2.1.11 にはそれらを組合せたものを示す。総ての項目の危険域に含まれない部分が安全域である。この結果より次の考察ができる。

限界速度曲線は、パターンによって次の3グループに分けられる。

- ① F.P. 上下加速度, スラミング, F.P. 海水打ち込み
  - ② プロペラ露出, 橫曲げモーメント
  - ③ 8 1/2 左右加速度, 横揺れ

①については、向い波付近に危険域が現われる。スラミング、F.P. 海水打ち込みをF.P.上下加速度で置き換えるとTable 2.1.4のようになる。

②については、向い波及び追い波に、速度が低い場合にも危険域が現われる。プロペラ上端露出は、 $\frac{1}{3}D$  露出に比べて非常に厳しい条件である。

③については、横波から追い波にかけて危険域が現われる。横揺れを  $8\frac{1}{2}$  左右加速度で置き換えると、Table 2.1.5 のようになる。

ところで、①の内のスラミングについては、危険域が他の項目の場合よりも小さいので問題にしなくてよい。②の内の縦曲げモーメントについては、船体強度面からの限界値が必ずしも明確ではなく、又危険域は上記3項目中のいずれかに含まれるので、考慮しなくてよいと思われる。①のF.P.海水打ち込み及び③の横揺れについては、それぞれ相当加速度で置き換えれば、実際上都合がよからう。

### 2.1.5 問題点と今後の課題

2.1.4で示した3項目のうち、②のプロペラ露出、③の横揺れ、8½左右加速度は、それぞれ非常に問題の多い項目である。今回の計算では、どちらの項目についても安全サイドをとる意味で条件を厳しくした。そのため危険域が大きくなつたようである。特に③については、横揺れの応答関数を線型ダンピングで計算したので、限界値は厳し過ぎたようと思われる。②のプロペラ露出についても、発現確率を大きくしても良いのか検討する必要がある。結局、次の2点が今後の課題として考れられる。

- ## 1. プロペラ露出の限界値を明確にすること。

2. 横揺れの非線型性を考慮すること。

Table 2.1.1 項目及び限界値

No.	項目	限界値	発現確率	限界有義両振幅
1	F.P. 上下加速度	0.8 g	$10^{-3}$	0.86 g
2	スラミング	—	0.01	—
3	F.P. 海水打ち込み (含 $\zeta_s$ )	—	0.02	—
4	⑦ 縦曲げモーメント	70,000 t-m	$10^{-5}$	58,000 t-m
5	プロペラ露出 (含 $\zeta_s$ )	—	0.1	—
5'	プロペラ $\frac{1}{3}$ 露出 (不含 $\zeta_s$ )	—	0.1	—
6	8 $\frac{1}{2}$ 左右加速度 (含重力成分)	0.6 g	$10^{-3}$	0.64 g
7	横揺れ	22.2° ~ 25.8°	$10^{-3}$	23.9° ~ 27.8°

註)  $\zeta_s$  : 静水中航走時の相対水位上昇

Table 2.1.2 F.P. における有効乾舷

Fn	0.0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
f <sub>e</sub> (m)	11.04	10.81	10.59	10.36	10.16	9.58	9.54	9.34

Table 2.1.3 限界横揺れ角

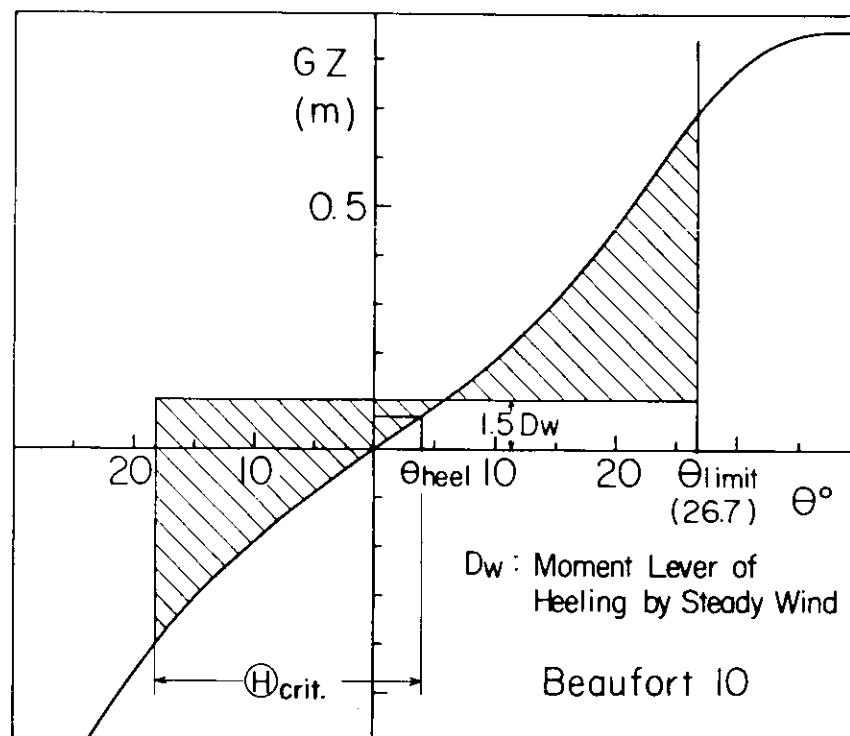
ビューフォート	風速 (m/sec)	定常風による heeling	限界横揺れ角	$p = 10^{-3}$ 限界有義両振幅
6	12.4	0.9°	25.8°	27.8°
7	15.5	1.4°	25.2°	27.1°
8	18.9	2.0°	24.5°	26.4°
9	22.6	2.9°	23.6°	25.4°
10	26.4	4.0°	22.2°	23.9°

Table 2.1.4 相当 F.P. 上下加速度 (有義両振幅)

項目	8	9	10
スラミング ( $p = 0.01$ )	—	1.05 ~ 1.25 g (向い波)	1.05 ~ 1.2 g (向い波)
F.P. 海水打ち込み ( $p = 0.02$ )	0.7 ~ 0.9 g (向い波)	0.6 ~ 0.9 g (向い波)	0.5 ~ 0.85 g (向い波)

Table 2.1.5 相当  $8 \frac{1}{2}$  左右加速度 (有義両振幅)

ピューフォート	8	9	10
横 摆 れ 限 界	0.5 $\vartheta$	0.5 ~ 0.6 $\vartheta$	0.5 ~ 0.6 $\vartheta$



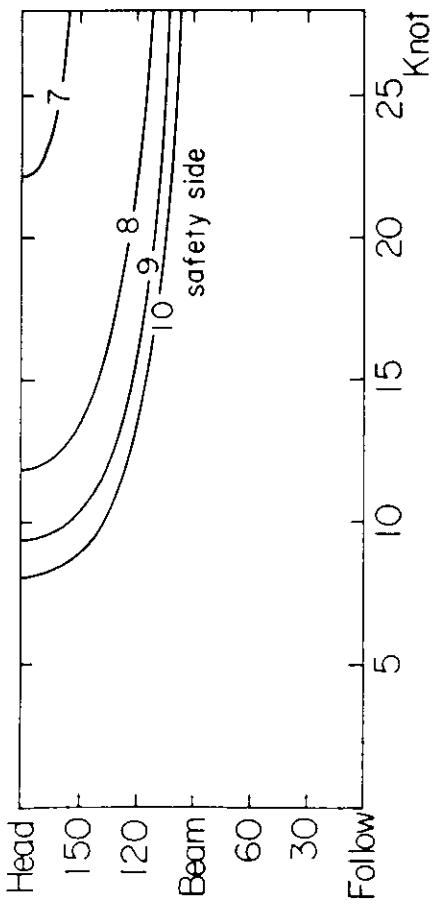


Fig. 2.1.2 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Significant Double Amp. of Vertical Acceleration at F.P.  $\leq 0.86 g$ )

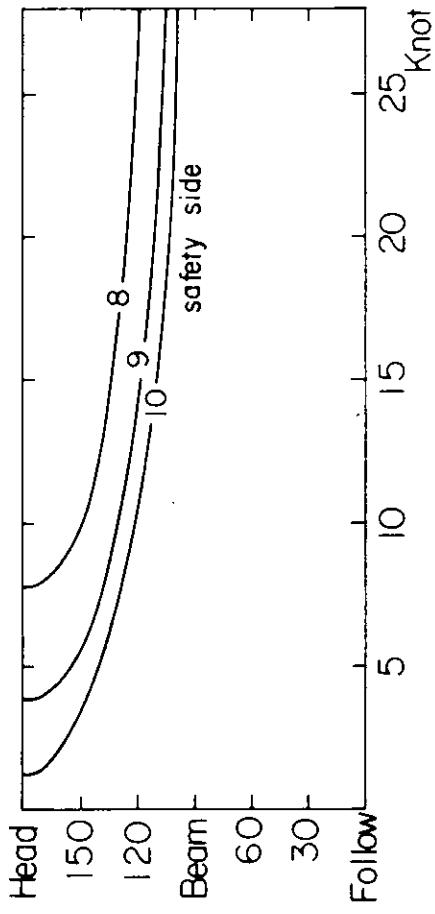


Fig. 2.1.4 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Probability of Deck-Wetness at F.P.  
 $\leq 0.02$ )

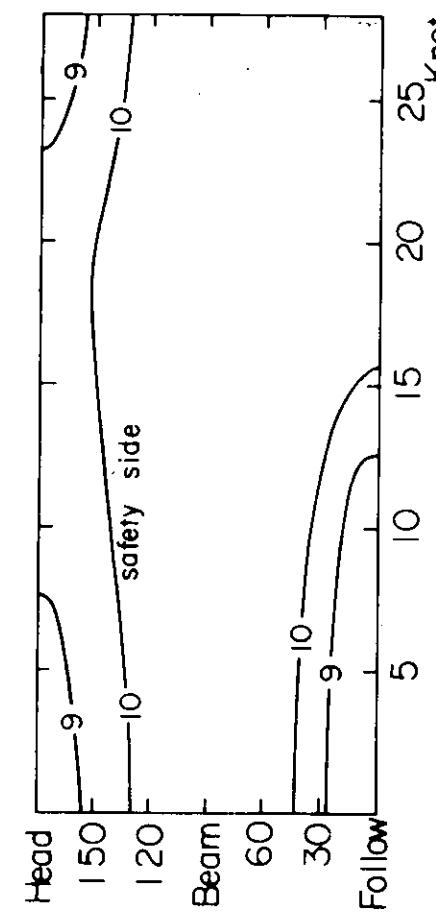
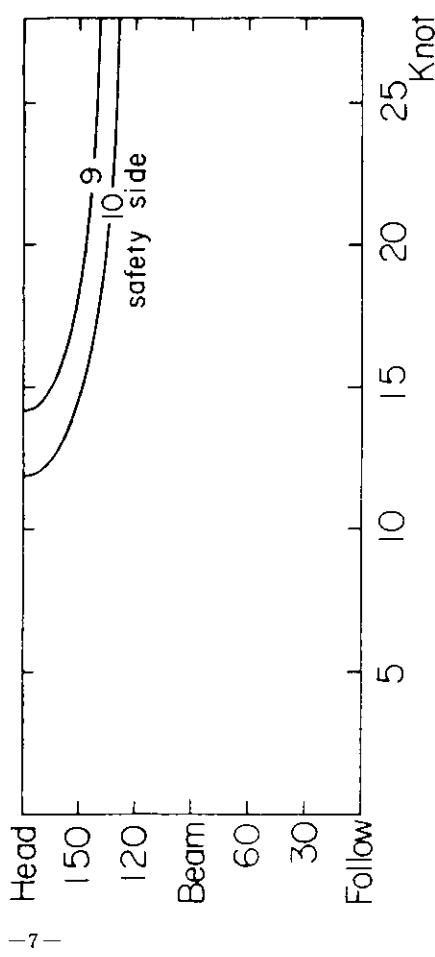


Fig. 2.1.5 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Significant Double Amp. of Vertical Bending Moment at  $\varphi \leq 58.00^\circ$ )

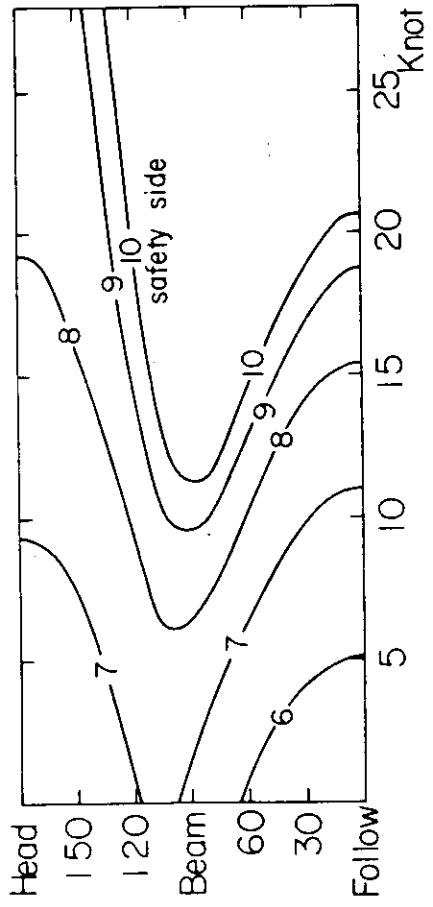


Fig. 2.1.6 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Probability of Propeller Top Emergence  
 $\leq 0.1$ ..... include static swell-up )

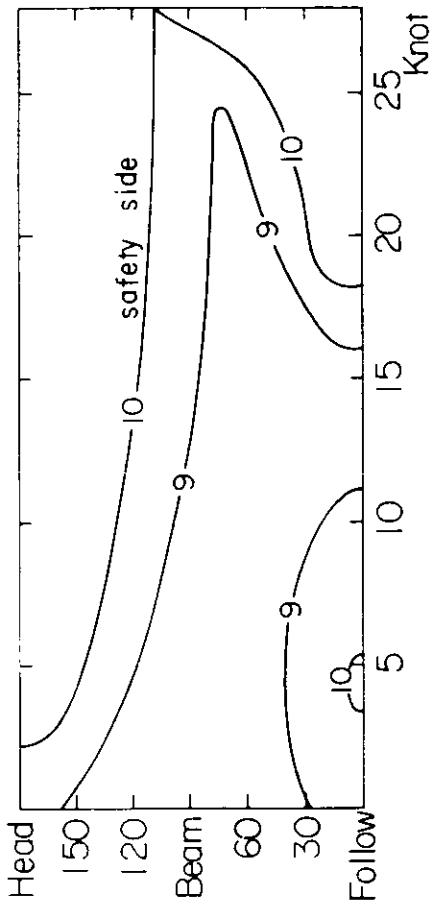


Fig. 2.1.8 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Significant Double Amp. of Lateral Acceleration at S.S.  $8 \frac{1}{2} \leq 0.64 g$ )

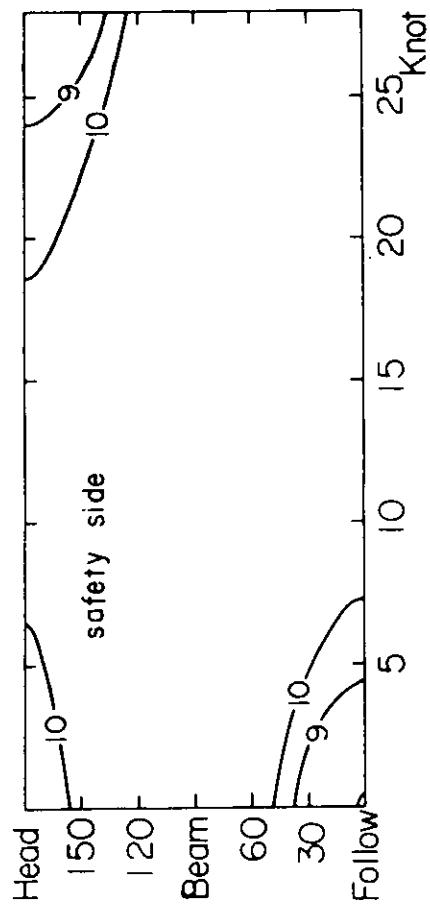


Fig. 2.1.7 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Probability of Propeller 1/3D Emergence  
 $\leq 0.1$ ..... exclude static swell-up )

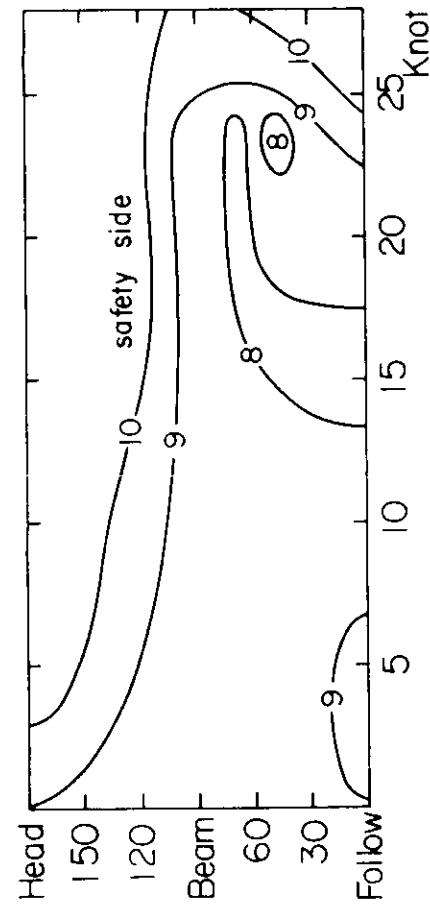
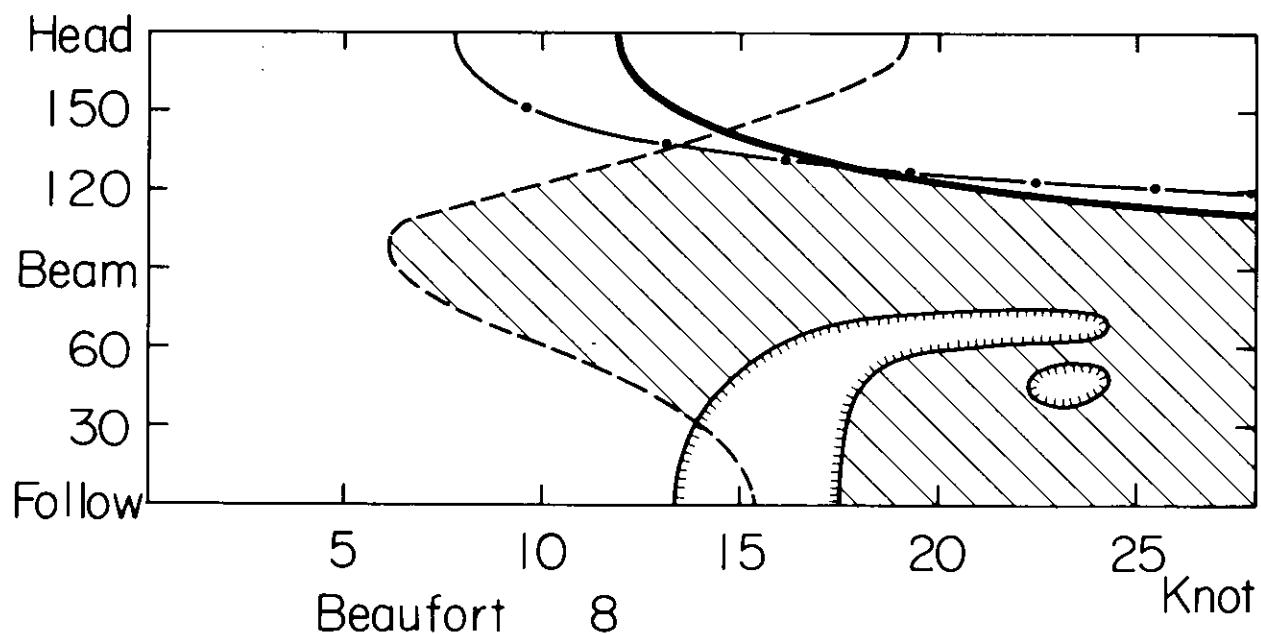
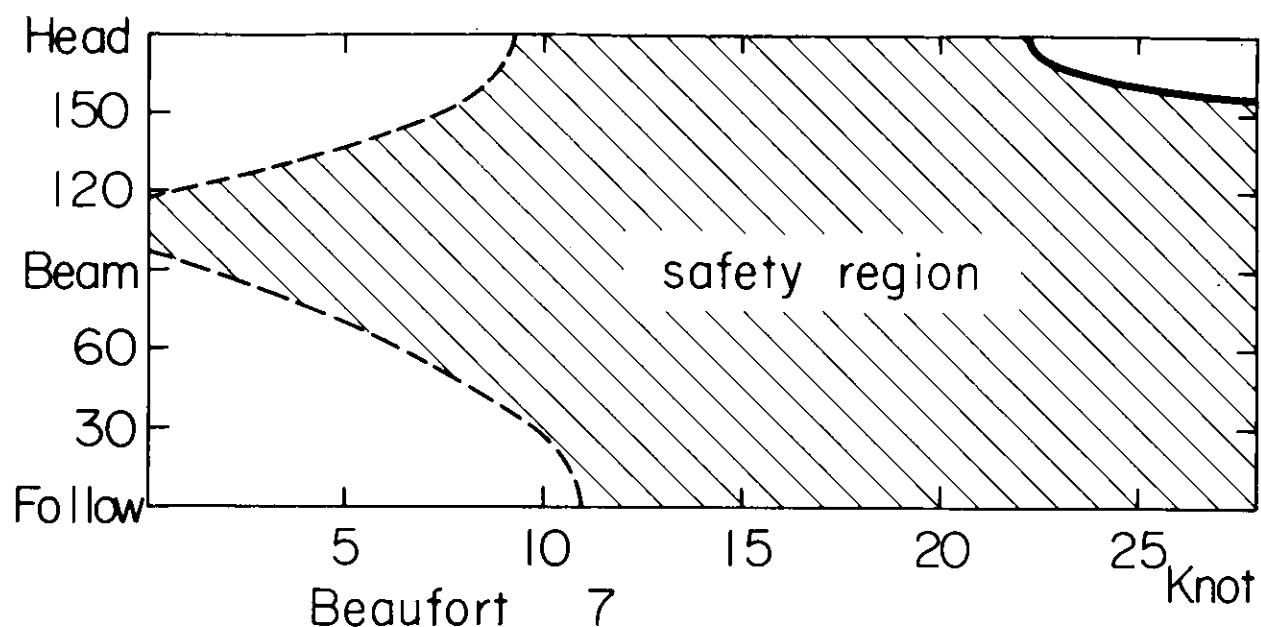
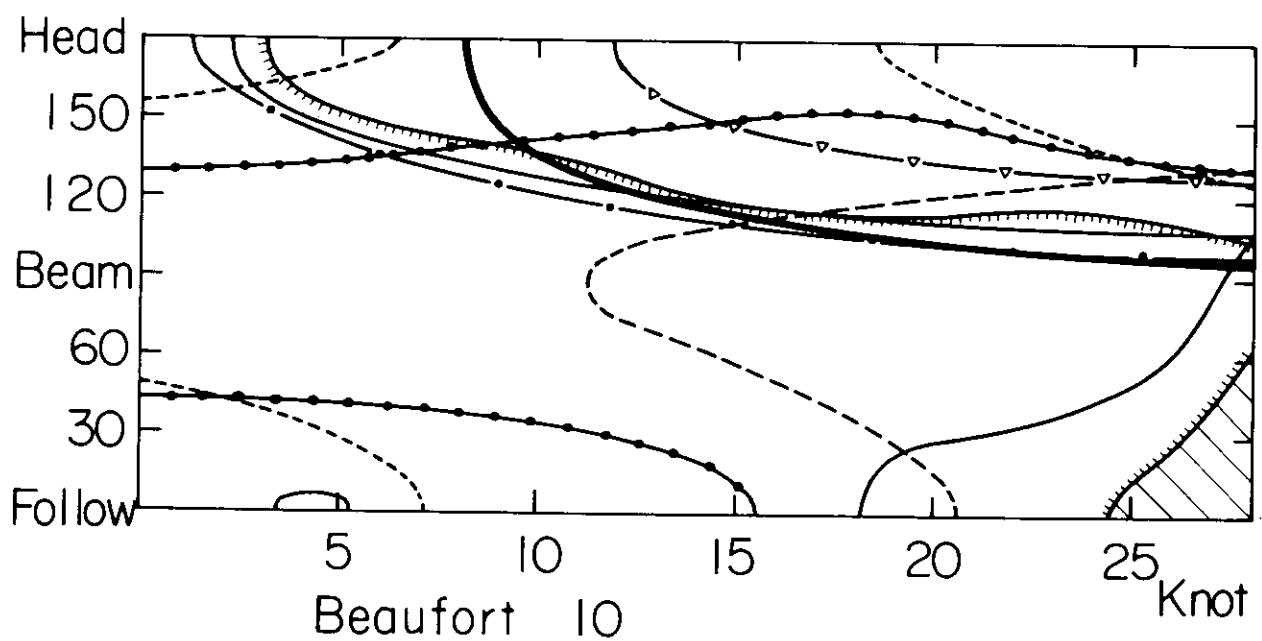
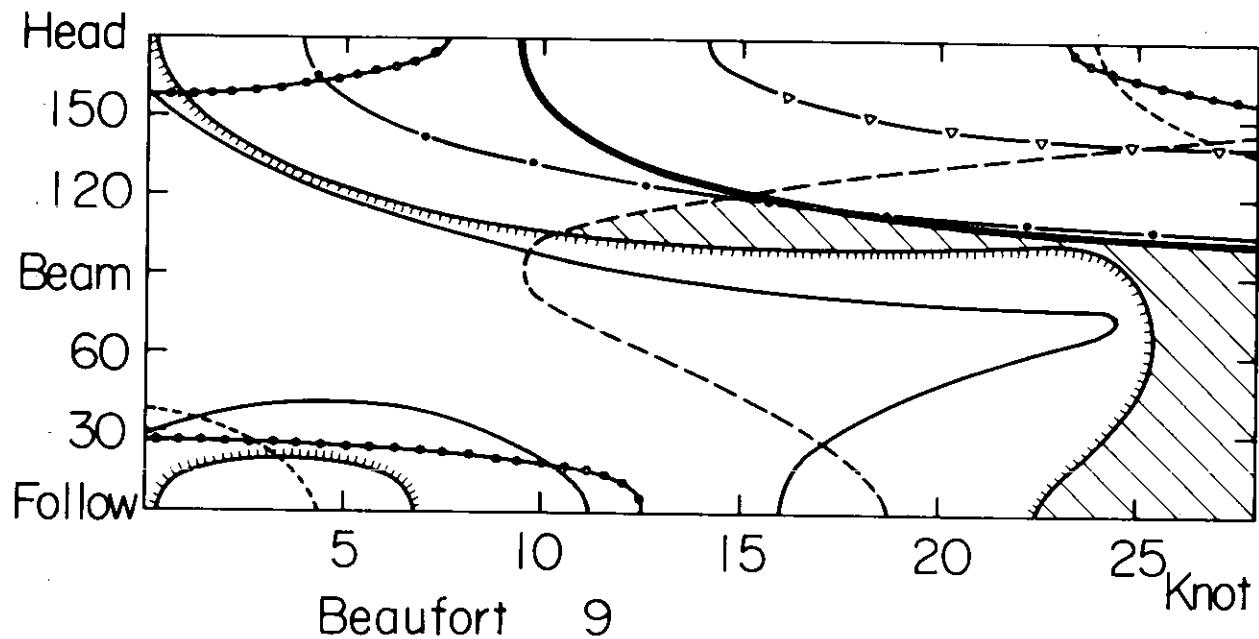


Fig. 2.1.9 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves  
(Critical Roll Angles are shown in  
Table 2.1.3 )



- Vertical Acceleration at F.P.
- ▽—▽— Slamming
- Deck-Wetness at F.P.
- Vertical Bending Moment at  $\infty$
- Propeller-Top Emersion (include static swell-up)
- Propeller  $1/3$ D Emersion (exclude static swell-up)
- Lateral Acceleration at S.S. 8 $1/2$
- Rolling

Fig. 2.1.10 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves



- Vertical Acceleration at F. P.
- ▽— Slamming
- Deck-Wetness at F. P.
- Vertical Bending Moment at  $\infty$
- Propeller-Top Emersion (include static swell-up)
- Propeller 1/3D Emersion (exclude static swell-up)
- Lateral Acceleration at S.S. 8 1/2
- Rolling

Fig. 2.1.11 Critical Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves

## 2.2 シミュレーション計算

### 2.2.1 航路の計算方法

出発点と目的地の間の海象が与えられた場合、どのような航路をとれば、安全を保ちながら、早く目的地に到達出来るかという最適航路を計算で求めるための ship routing<sup>6)7)8)</sup>プログラムを開発してきた<sup>6)7)8)</sup>が、48年度に使用したプログラム<sup>8)</sup>では、次の(A)～(F)の航路のうち任意のものが選べるようになっていた。

今年度はプログラムを改良して、(F)でのべるような計算が行えるようにした。(A)～(F)それぞれの計算法の違いを Fig. 2.2.1 に示す。

- (A) 出発点と目的地が与えられたときに決る大囲航路。
- (B) 出発点と目的地の他に中間の 1 点を指定したときの、それら 3 点を通る円航路。
- (C) 最終目的地の他に中間の目的地を 1 点指定し、出発点から中間の目的地、中間の目的地から最終の目的地と計算を 2 回に分け、それぞれの計算は次にのべる(D)の方法を用いる。
- (D) ポントリヤーギンの最大原理を用いる方法。

この方法は、まず、出発点での船の方位を適当に定め、ポントリヤーギンの最大原理から求まる式<sup>6)</sup>により船の方位の時間変化を求め、航路の計算を行なう。しかし 1 回の計算で目的地に達する解が得られるとは限らないから、船の初期方位を適当に変えてトライアル・アンド・エラーの方法で目的地に達するものを探る必要がある。

ただしこの方法の場合、海象状態によっては、繰り返し計算を行なっても目的地に到達しない場合がある。このようなときはそれまでのトライアルから見て最も適当と思われる航路をたとえば 1 日進み、そこを新しい出発点として計算を繰り返し、目的地に到達する航路を求める。

- (E) 中間の目的地を数点指定し、それの中間の目的地を通る場合について(C)の計算を行ない、そのうちから最良のものを選ぶ方法。

中間の目的地としては、任意の経度 1 つに対し、緯度方向の位置と数を自由に選べるようにしている。

- (F) 出発点と目的地の間を網の目で結び、各点間は(A), (B)または(D)の方法で計算し、そのうちから最も良いものを選ぶ方法。中間の点としては、経度の数と位置を任意に選び、それについて緯度方向にも位置と数を自由に選べるようにしている。

また、最初、計算時間が短かくてすむ(A)又は(B)の方法で計算して一応航路を決めておき、その航路について、さらに各点間を(D)の方法で計算して有利な方を採用するという方法もとれるようにしている。

### 2.2.2 冬期北太平洋航海のシミュレーション計算

先にのべた(A)～(F)の方法で、長さ 175 m の SR108 1 軸高速コンテナー船<sup>2)</sup>を対象に計算した結果を Table 2.2.1 と Fig. 2.2.2(a)～Fig. 2.2.3(b) に示す。

(B) の方法による計算の場合、中間の 1 点は (170°W, 35°N) としている。(C) の中間の目的地も (170°W, 35°N) であるが、±5° の誤差を認めて、30°N～40°N の間にすれば到達したものとみなしている。(E) の場合、170°W における中間の目的地を 45°N, 40°N, 35°N, 30°N の 4 点とし、(C) の場合と同様に±5° の誤差をゆるしている。(F) の中間点は、経度方向は 150°E～130°W の間を 10° おきに 9 点、各経度の所で緯度方向は 28°N～50°N の間で 3° おきに 6～8 点と、合計 64 点選んである。

シミュレーション計算は 12 月、1 月、2 月それぞれについて 20 往復の計 60 往復について行なっている。その際の海面状態の発生方法は、山内の資料<sup>9)</sup>をもとにして乱数を用いて行なう方法<sup>10)</sup>である。また、波浪中での速度低下には、抵抗増加によるものと危険回避によるものを考慮しているが、危険回避のための耐航性諸要素の限界値としては、有義振幅が縦揺れで 6°、横揺れで 24°、F.P. の上下加速度で 0.6 g、S.S. 8 の甲板上コンテナの 2 段積みの中心における横加速度で 0.2 g とした。船速は平水中で 24 kt/s としている。

Table 2.2.1 から分るよう(F)の方法は他の計算法の場合より平均航行日数も少なく、平均遭遇海象もおだやかで、

平均的にもっとも良い結果を与えている。さらに(A)～(E)の方法の場合、航行日数が極端に長くなる例が見られたが、(F)の方法ではそのようなことがなかった。

### 2.2.3 実船の航海記録と計算の比較

SR125 昭和45年度の実船実験<sup>10)</sup>のうち加州丸については実際の航海と計算の比較をすでに行なっている<sup>9)</sup>ので、今回はあめりか丸25次航<sup>10)</sup>(船研チーム)とどうるでんげいとぶりっじ25次航<sup>10)</sup>(阪大・府大チーム)について計算との比較を行なった。

結果をTable 2.2.2とFig. 2.2.4, Fig. 2.2.5に示す。計算に用いたFig.2.2.6(a)～(m), Fig.2.2.7(a)～(p)の海象は、実船の航海中に受信したファクシミリの波浪図から読みとったものである。Table 2.2.2中、実船とあるのは実際の航海記録であり、計算とあるのは実船と同じ航跡をたどらせた場合の計算値である。Cal. 1は先に述べた(F)の方法による計算で、中間点は経度方向は150°E～130°Wまで10°おきに9点、緯度方向は27.5°N～50°Nまで2.5°おきに10点である。Cal. 2は緯度方向について37.5°N以下の点を使用した場合である。なお、平水中船速は22.5 kntsとしている。

「あめりか丸」についてみると、往航で実船と同じ航跡をたどらせた計算の場合、航行時間が実際よりかなり少なくなっている。この原因としては実際に遭遇した海象と計算に使用した海象の差、実船の入出港時の低速航行の影響、実際の航行距離と計算の航行距離の差といった種々のものが考えられる。

航行区域にとくに制限をもうけずに最適航路の計算を行なったCal. 1の場合、実船より北よりのほど大圈航路に近いところを通っており、実船と同じ航跡をたどらせた計算にくらべ航行時間が少し短くなっている。37.5°N以下を通るように制限をつけたCal. 2の場合は37.5°Nを保つような航跡が得られ、航行時間が少しのびた。しかし、いづれにしても計算値どうしの間にはそれほど大きな航行時間の差はない。

復航では、実船と同じ航跡をたどらせた計算の場合の航行時間が実際より少し長くなっている。一方、Cal. 1, Cal. 2の航行時間はかなり短くなっている。最適航路計算の効果が認められる。航跡についてみると、実船がほど34°Nを保っているのに対し、Cal. 1, Cal. 2では140°E～160°Wの間で少し北よりを通過しており、この部分での航跡の差が航行時間の差となってあらわれている。

「どうるでんげいとぶりっじ(G.G.B.)」の場合、往航の航跡、航行時間は実船、Cal. 1, Cal. 2とも「あめりか丸」とよく似ているが、復航では事情が大きく異っている。即ち、実船にくらべ、同じ航跡をたどらせた計算の航行時間が大変長くなっている。

このようなことになったのは、計算では船首上下加速度の有義両振幅を0.6 g以下におさえているが、「G.G.B.」の計測記録をみるとその値が0.6 gを超えている場合が多数あること、言いかえれば、「G.G.B.」が25次航の復航で多少無理をして走ったことが原因と考えられる。

このことを考慮して、船首上下加速度の制限値を有義両振幅で0.7 g以下と、少しゆるめた場合について、実船と同じ航跡をたどらせた計算を行なったところ実船とほど同じ航行時間が得られた。

船首上下加速度の有義両振幅が0.6 g以下という条件で最適航路計算を行なったCal. 1, Cal. 2はともに、同じ条件下実船の航跡をたどらせた計算よりはよくなっているが、多少無理をして走っている実船にはおよばない。

以上2隻の実船の航行実績と計算の比較から、今回用いたship routing用プログラムは、適正な速度制限条件を与えれば、実船の航行状態をかなりよくシミュレート出来るといえよう。

Table 2.2.1 シミュレーション計算の比較

	往航(東京→ロス)						復航(ロス→東京)					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
航行日数の平均(日)	8.9	9.3	8.9	8.8	8.5	8.4	8.9	10.8	10.2	9.5	9.0	8.5
航程係数の平均	1.00	1.05	1.05	1.02	1.02	1.01	1.00	1.05	1.07	1.03	1.03	1.01
平均船速の平均(kts)	22.2	22.1	23.3	22.8	23.5	23.6	22.0	19.5	20.9	21.7	22.6	23.3
遭遇海象の平均(ビューフォート)	3.9	4.2	3.7	3.7	3.5	3.4	3.9	4.6	4.1	3.9	3.5	3.3

速度制限 Nominal loss of speed  
pitching の有義両振幅  $\leq 6^\circ$   
Rolling の有義両振幅  $\leq 24^\circ$   
F.P. の上下加速度の有義両振幅  $\leq 0.6 g$   
S.S. 8 の甲板上コンテナーの 2 段積みの中心における横加速度の有義両振幅  $\leq 0.2 g$

Table 2.2.2 実船の航海記録と計算との比較

	往航		復航	
	航行時間 (日:時間)	平均船速 (kts)	航行時間 (日:時間)	平均船速 (kts)
あめりか丸	実船 9 : 14	21.8	10 : 9	21.0
	計算 9 : 2	22.0	10 : 12	20.2
	Cal. 1 8 : 22	22.1	10 : 0	21.1
	Cal. 2 9 : 3	22.1	9 : 23	21.3
G.G.B	実船 9 : 13	21.9	10 : 15	20.5
	計算 9 : 1	22.1	11 : 4	18.7
	計算 (acc/ $\leq 0.7g$ )		10 : 12	19.9
	Cal. 1 8 : 21	22.2	10 : 22	18.2
	Cal. 2 9 : 4	22.0	11 : 3	18.0

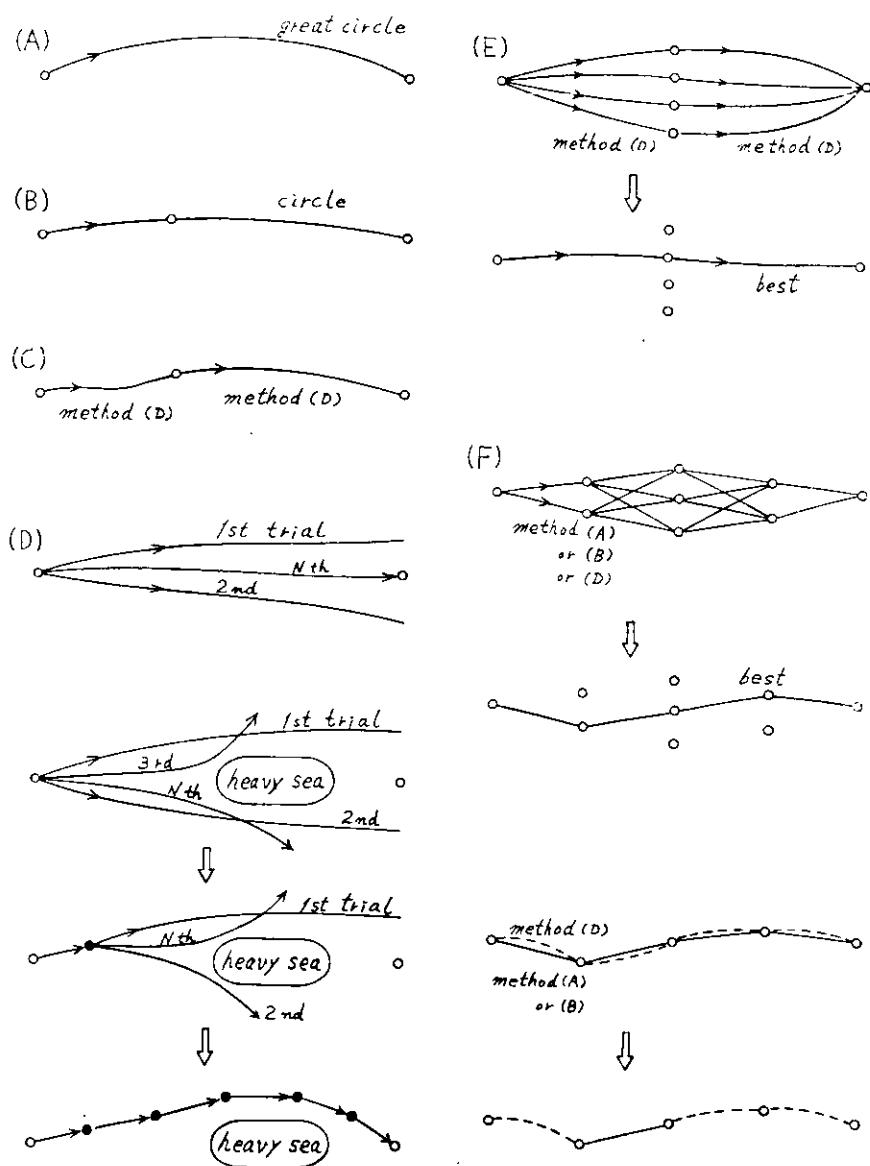


Fig. 2.2.1 航路の計算方法

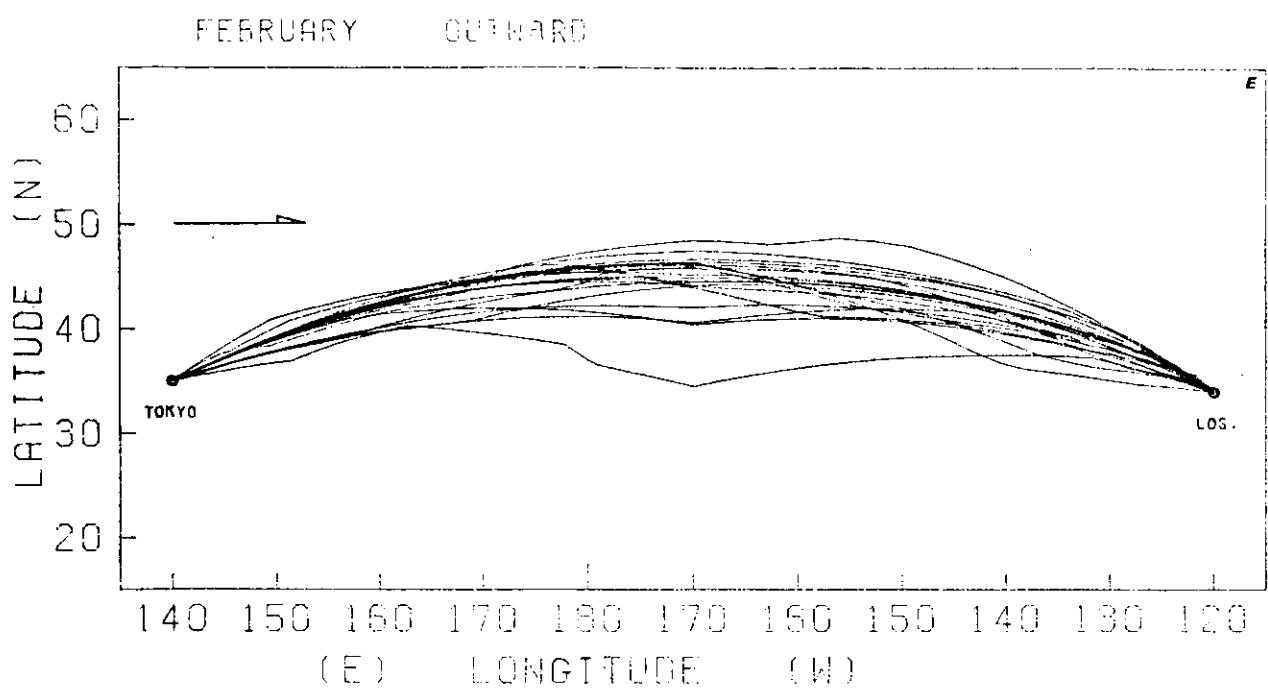


Fig. 2.2.2(a) (E)の方法によるシミュレーション計算の航跡

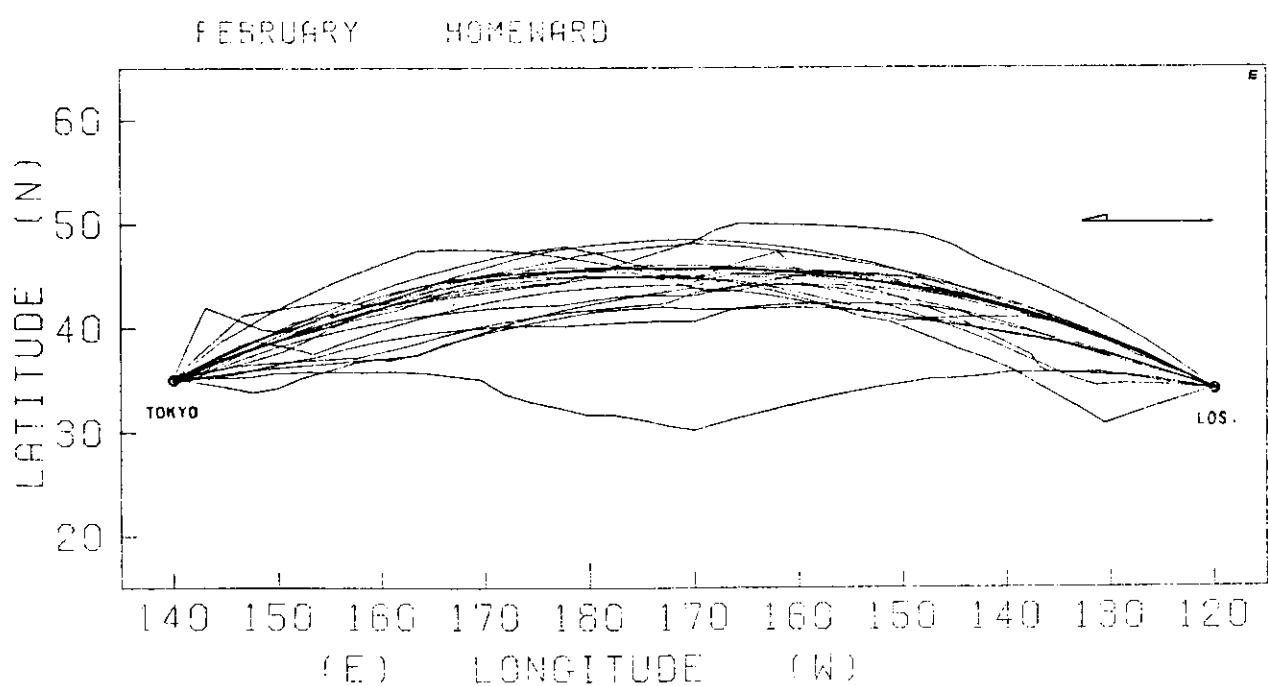


Fig. 2.2.2(b) (E)の方法によるシミュレーション計算の航跡

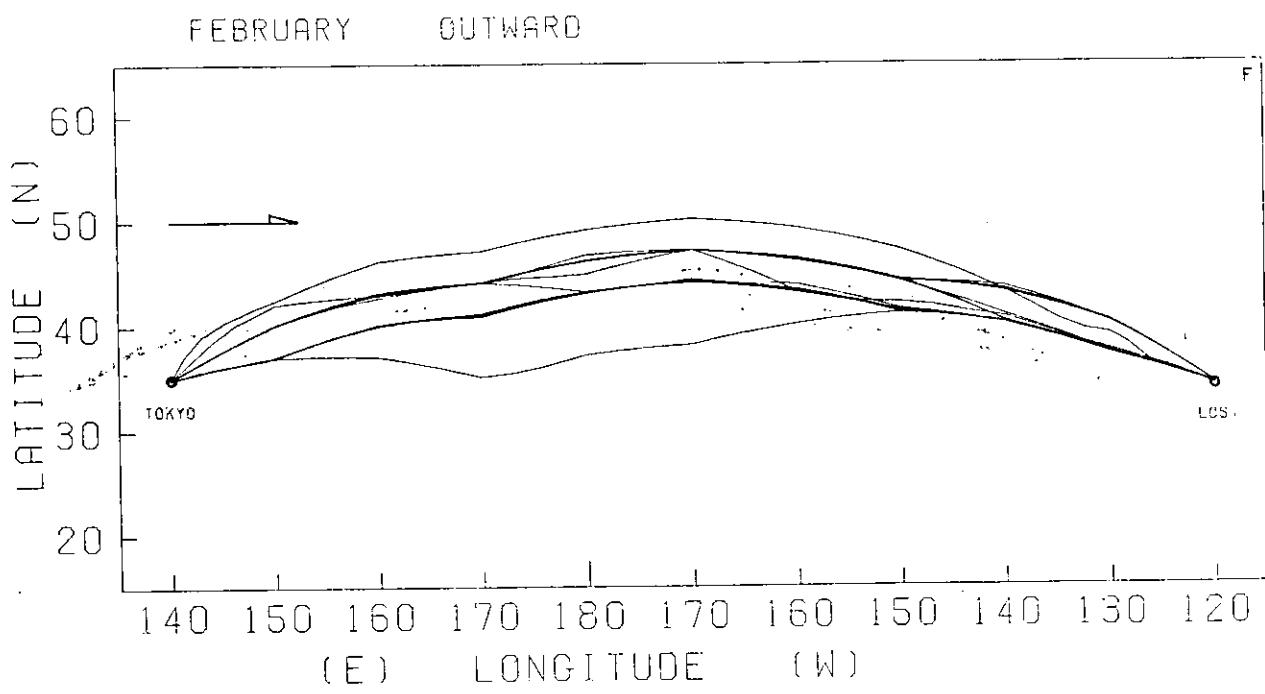


Fig. 2.2.3(a) (F)の方法によるシミュレーション計算の航跡

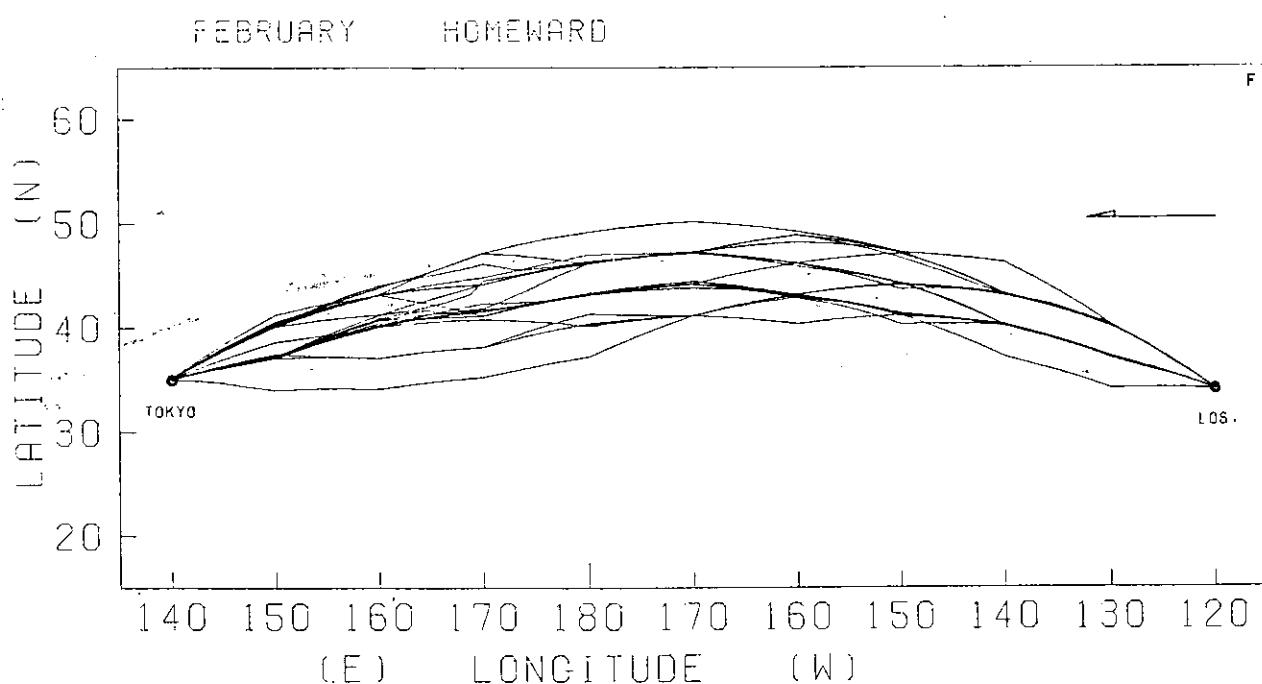


Fig. 2.2.3(b) (F)の方法によるシミュレーション計算の航跡

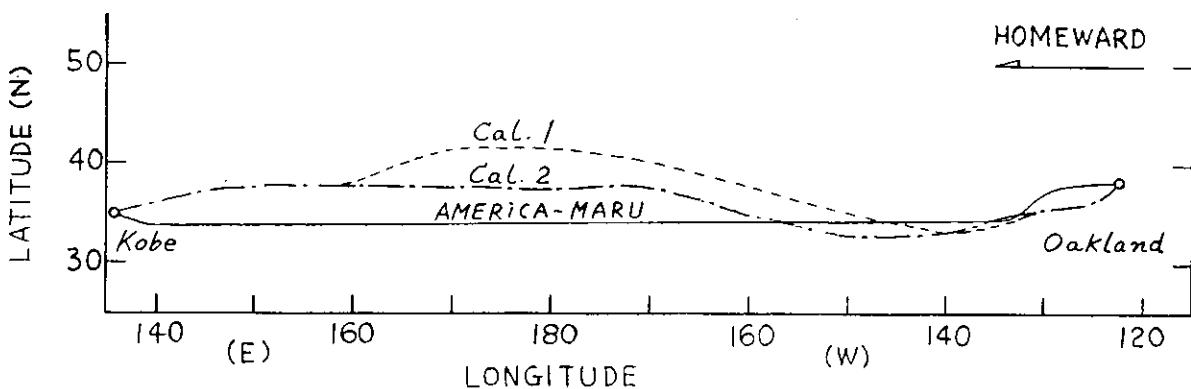
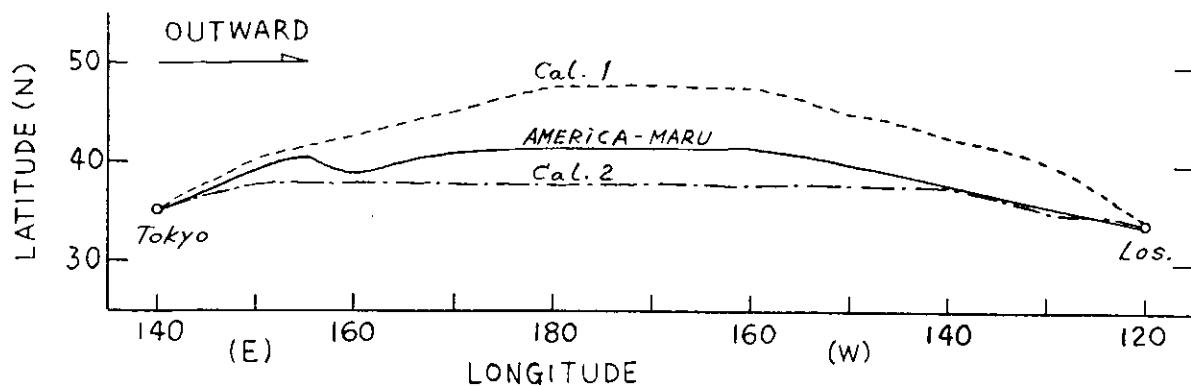


Fig. 2.2.4 あめりか丸の航跡

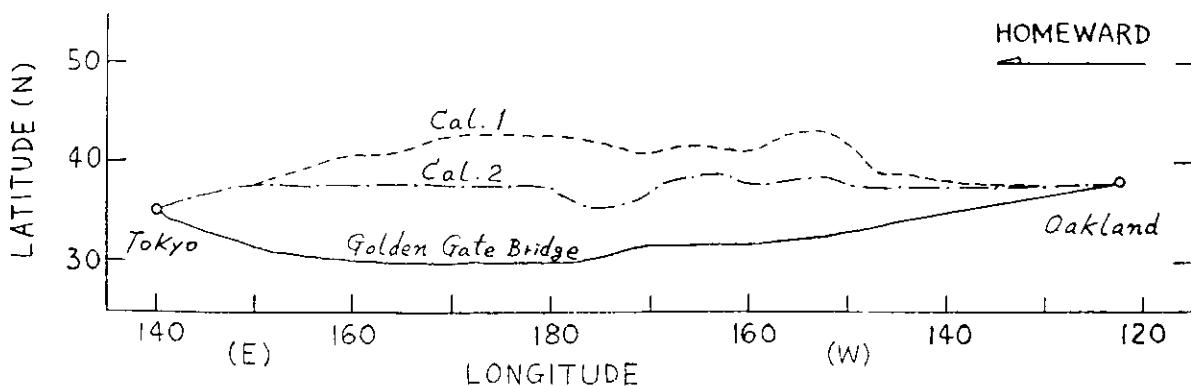
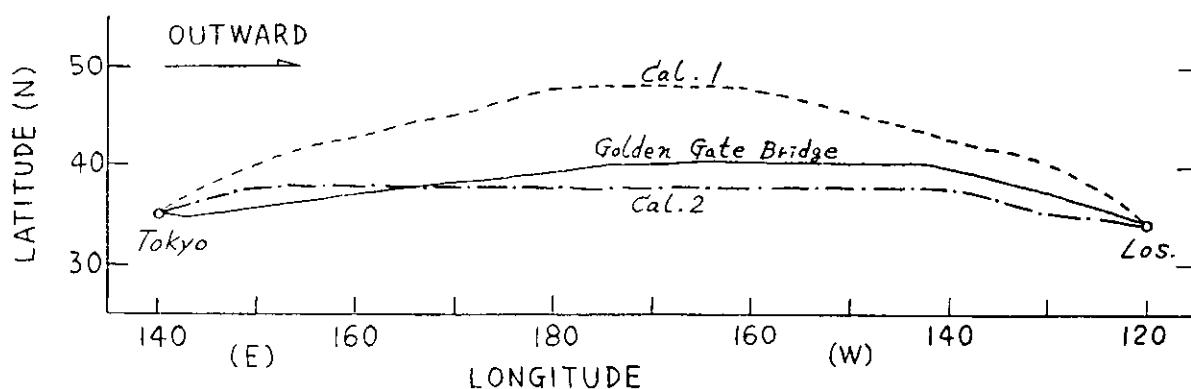
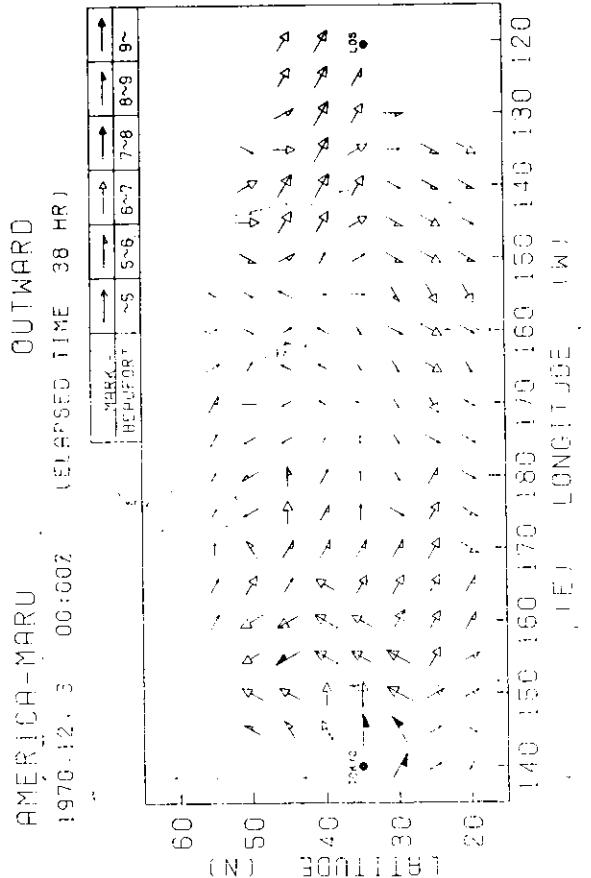
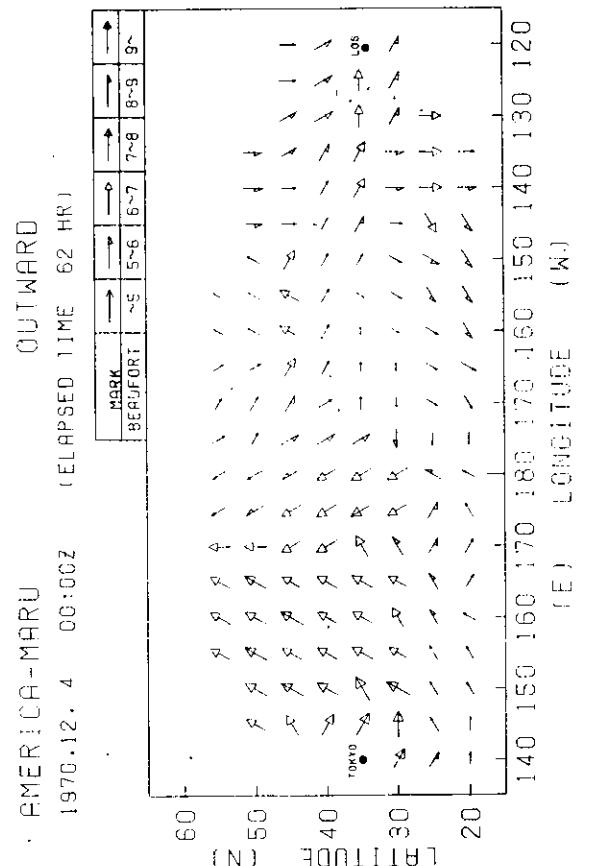


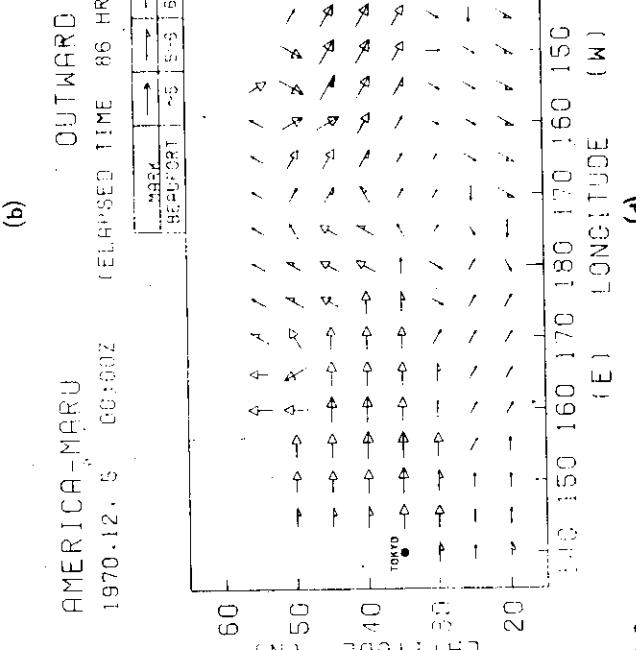
Fig. 2.2.5 ごうるでんげいとぶりじの航跡



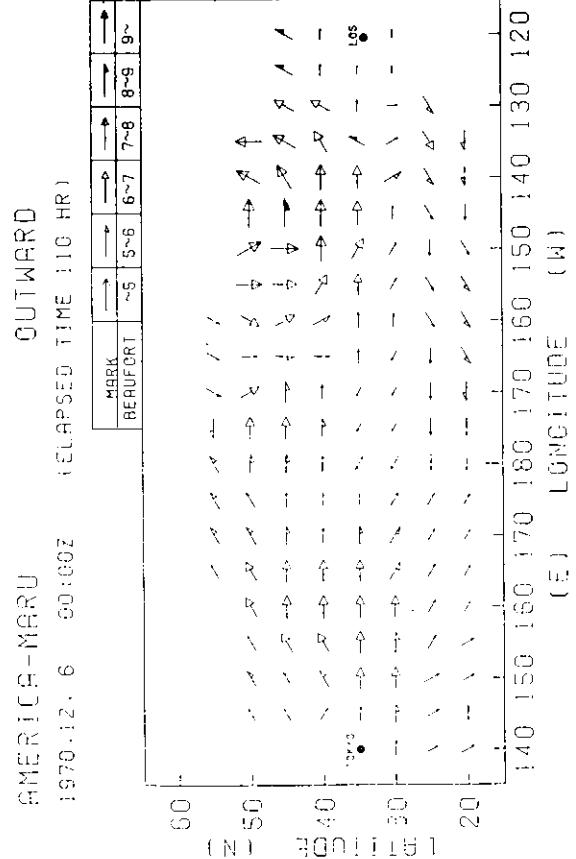
(a)



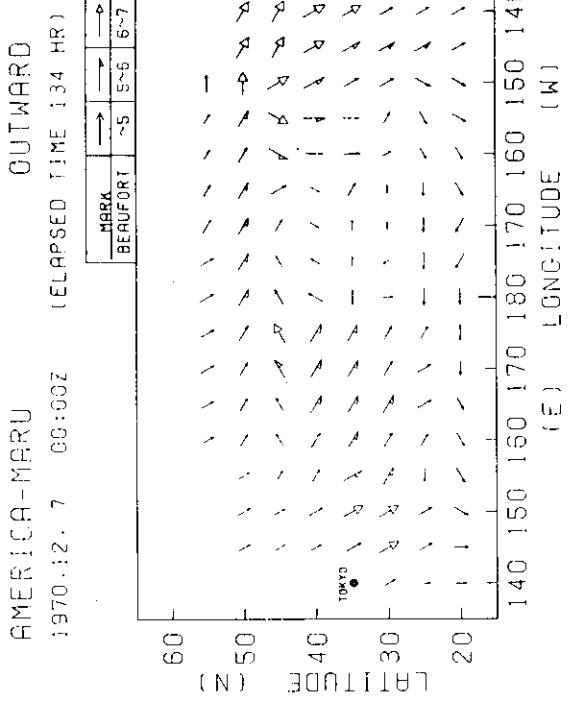
(c)



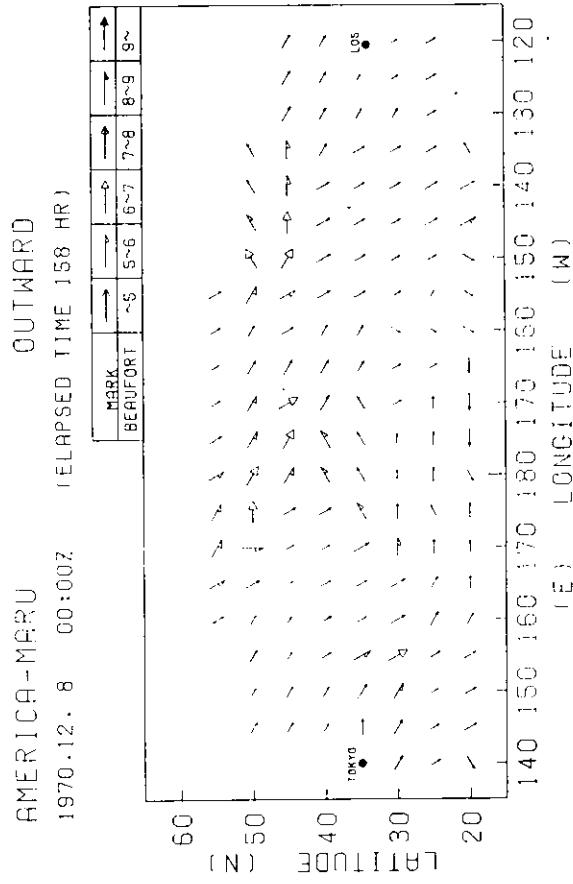
(d)



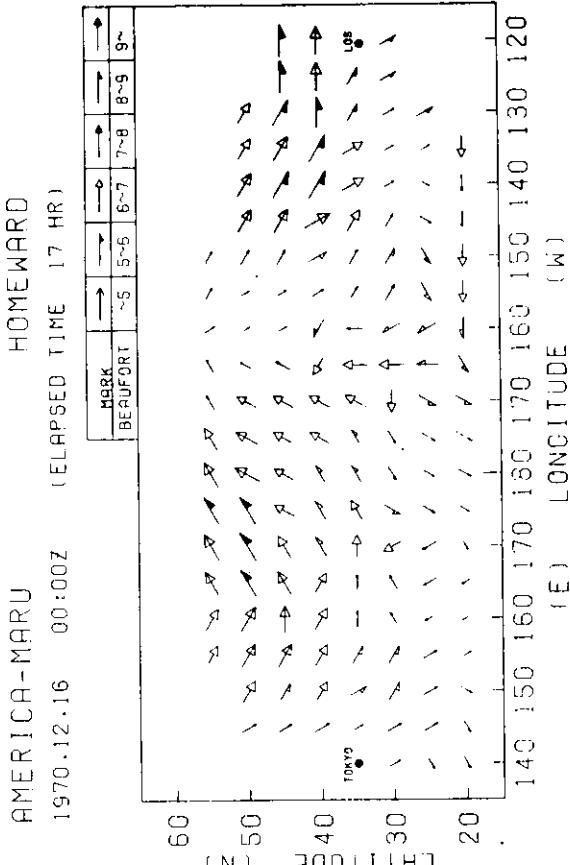
3



4



5



三

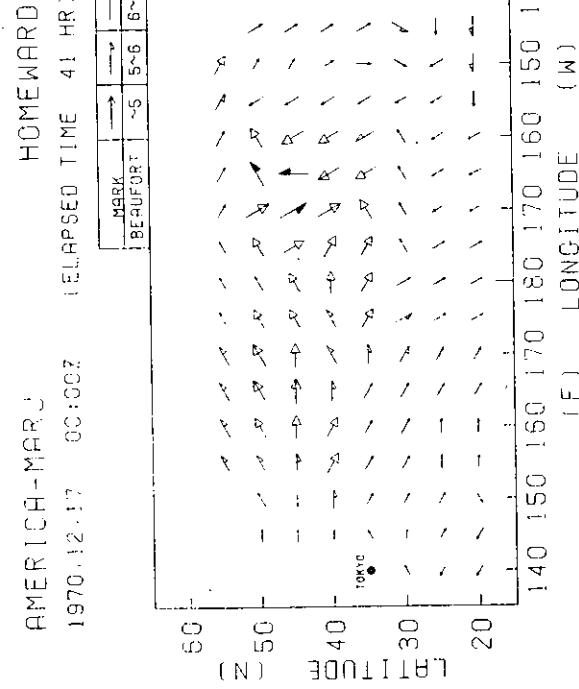
HOMEWARD  
(ELAPSED TIME 17 HR)

HOMEWARD  
TIME 17 HRS  
ELAPSED

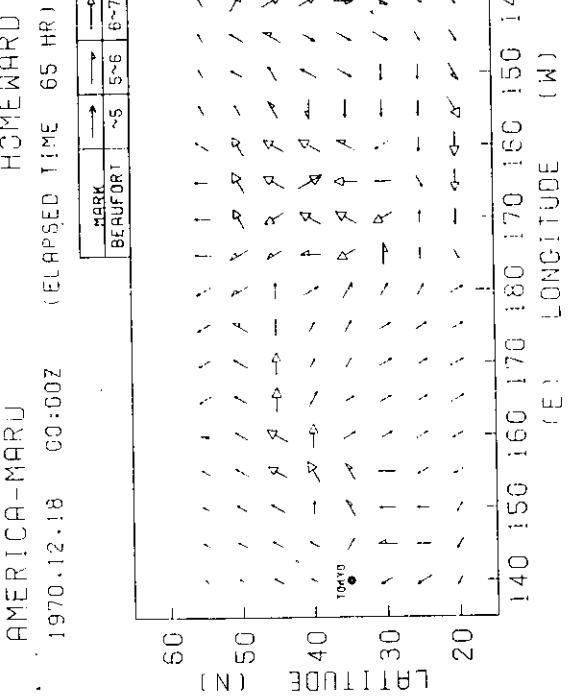
AMERICA-MARU  
1970.12.16 00:00Z

OUTWARD  
ELAPSED TIME 158 H

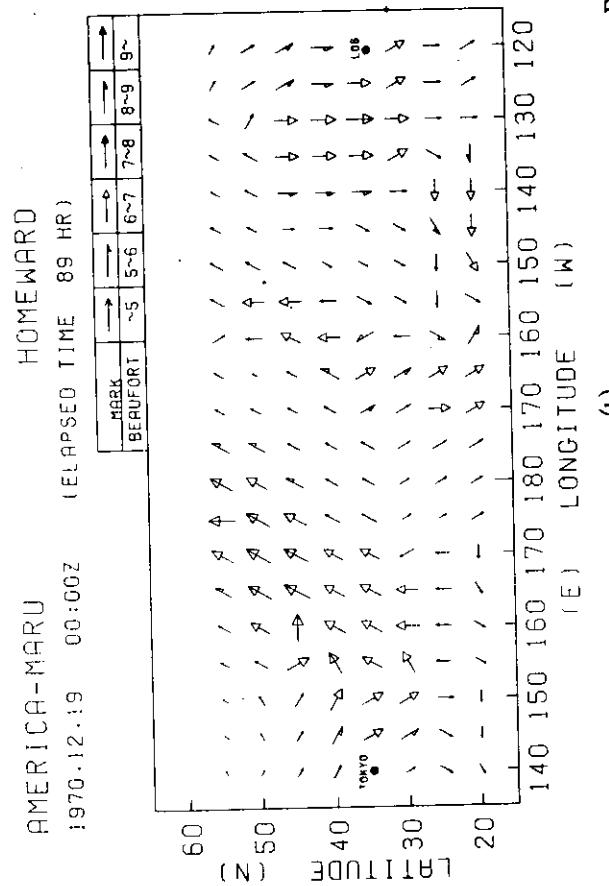
AMERICA-MERU  
1970.12.8 00:00



(i)



(j)



(k)

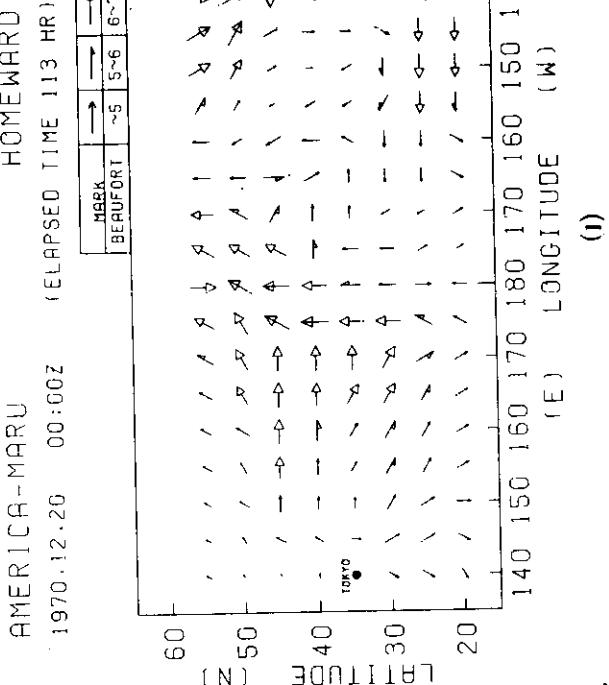


Fig. 2.2.6

AMERICA-MARU  
1970.12.21 00:00Z

HOMeward  
(ELAPSED TIME 137 HR)

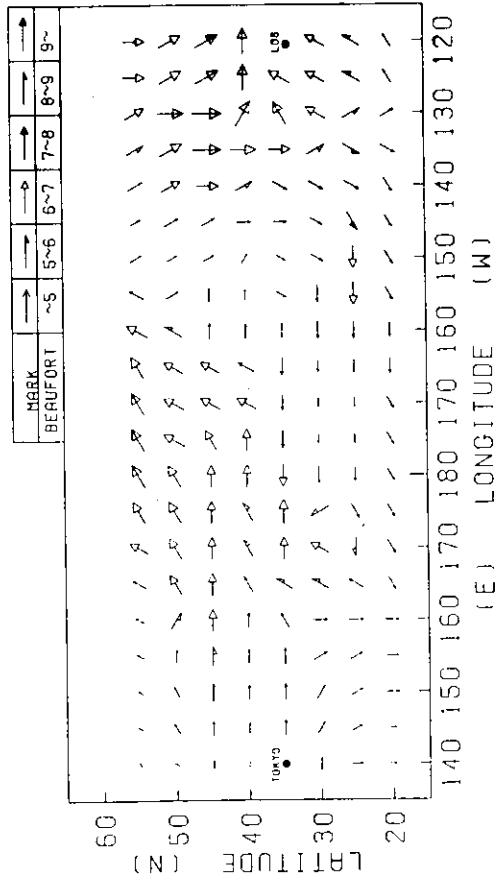
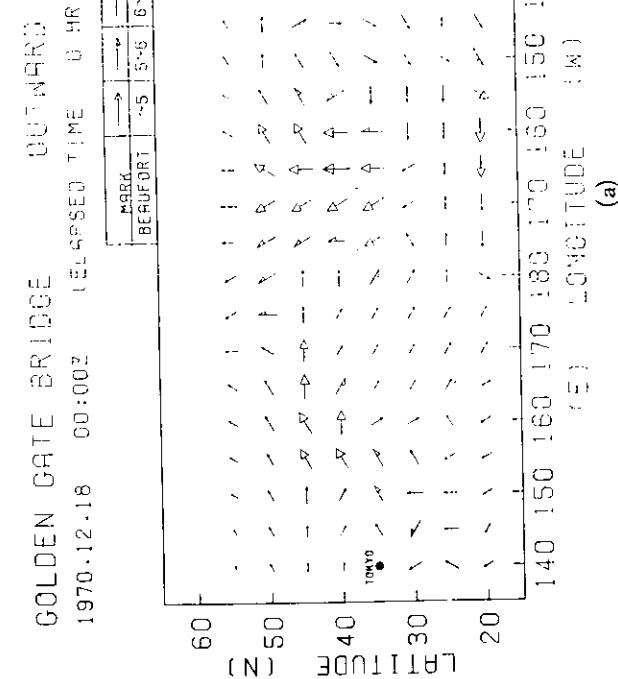
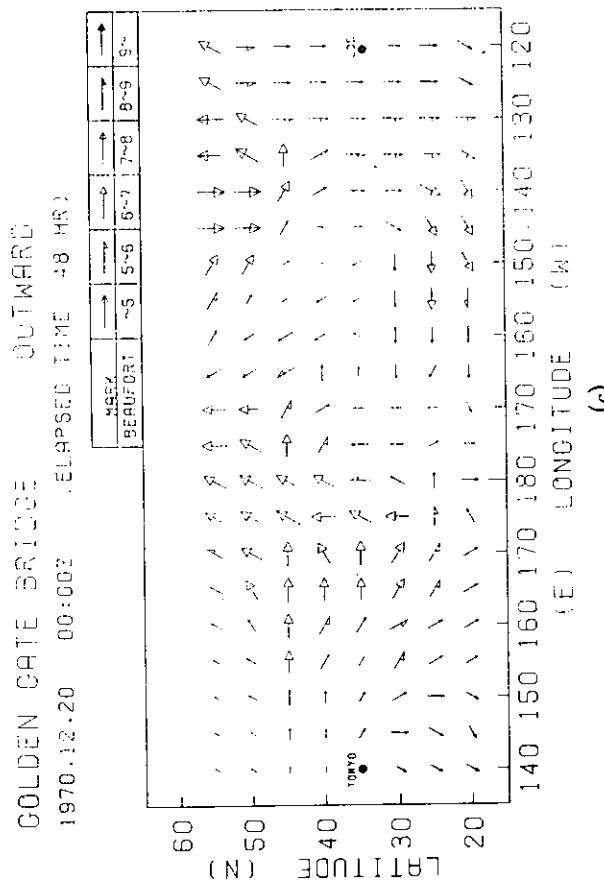


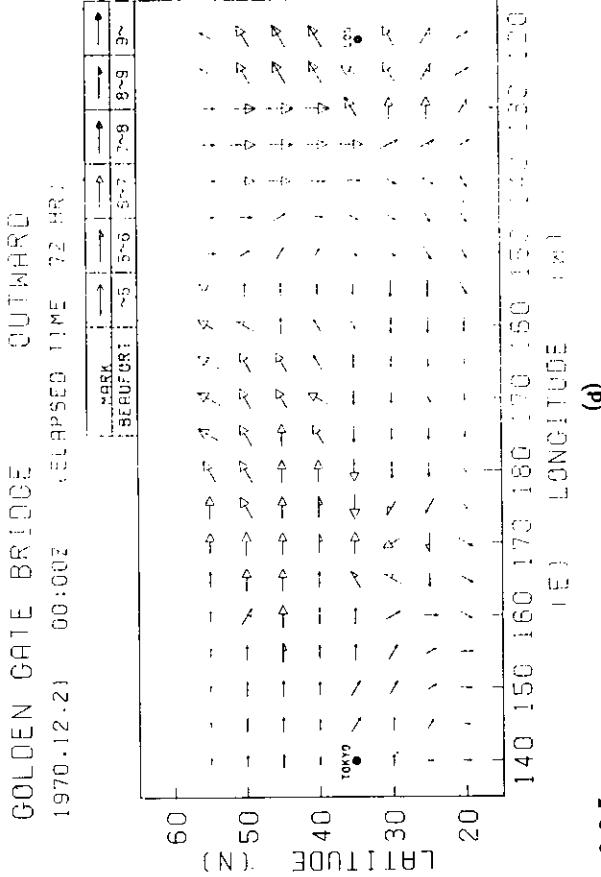
Fig. 2.2.6(m)



(a)



(c)



(b)

(d)

Fig. 2.27

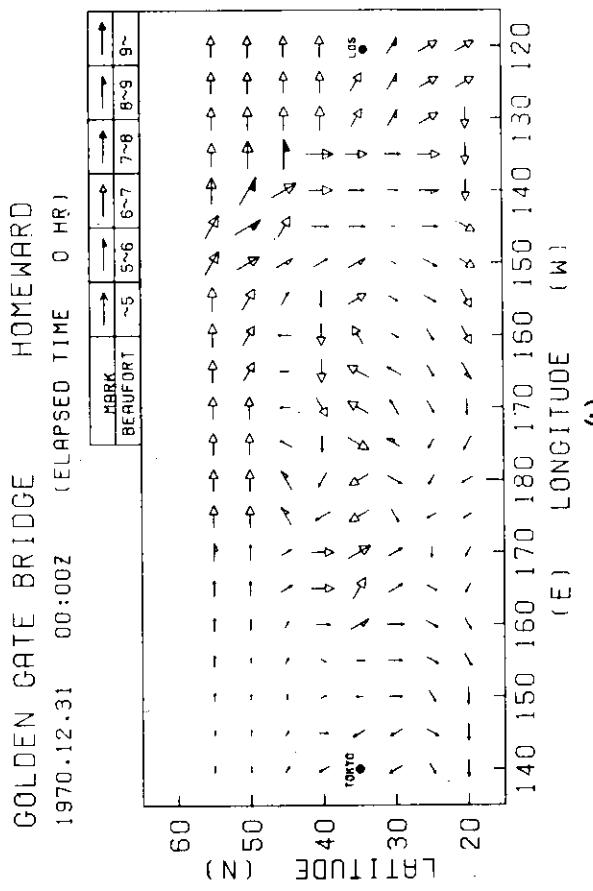
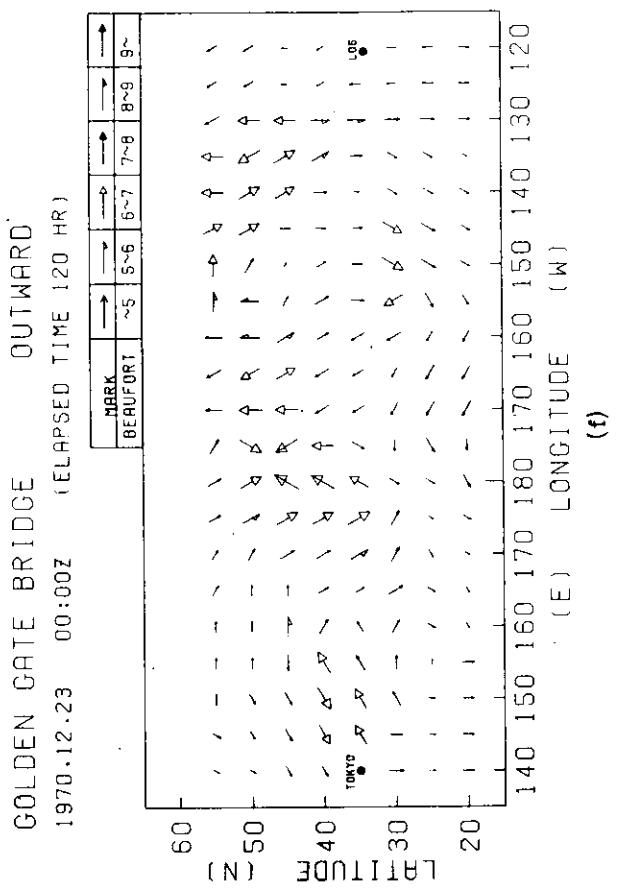
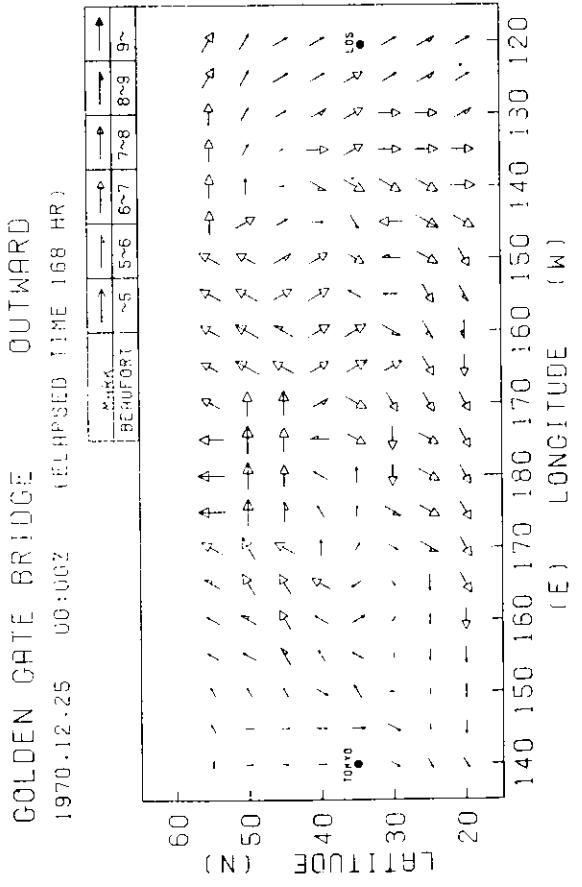
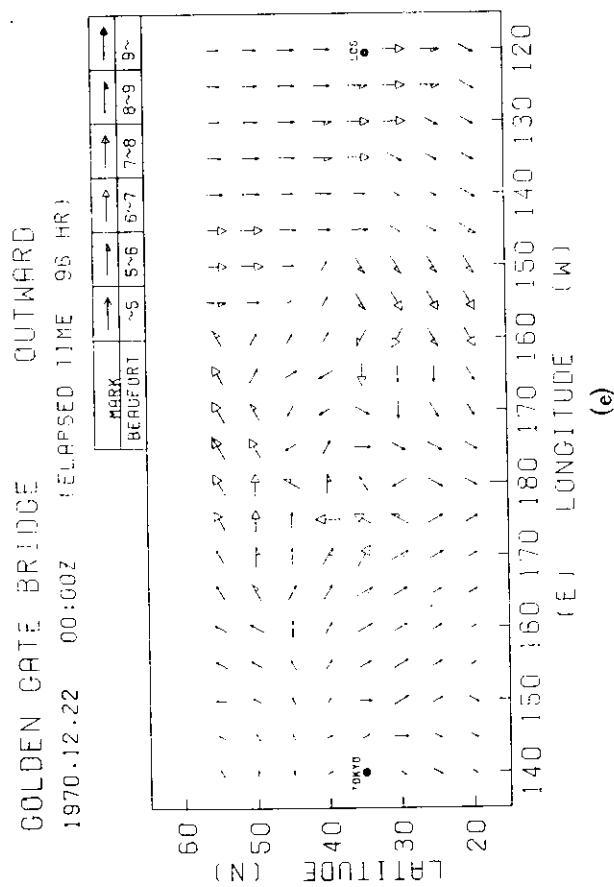
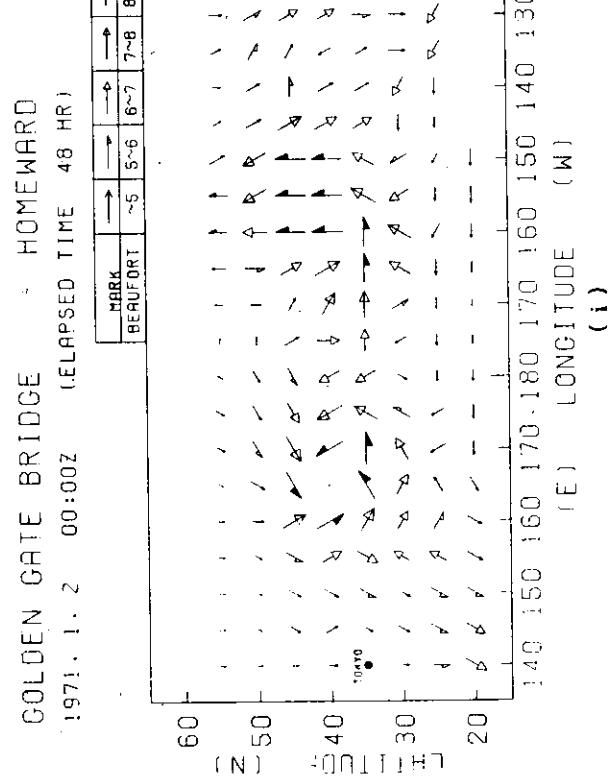
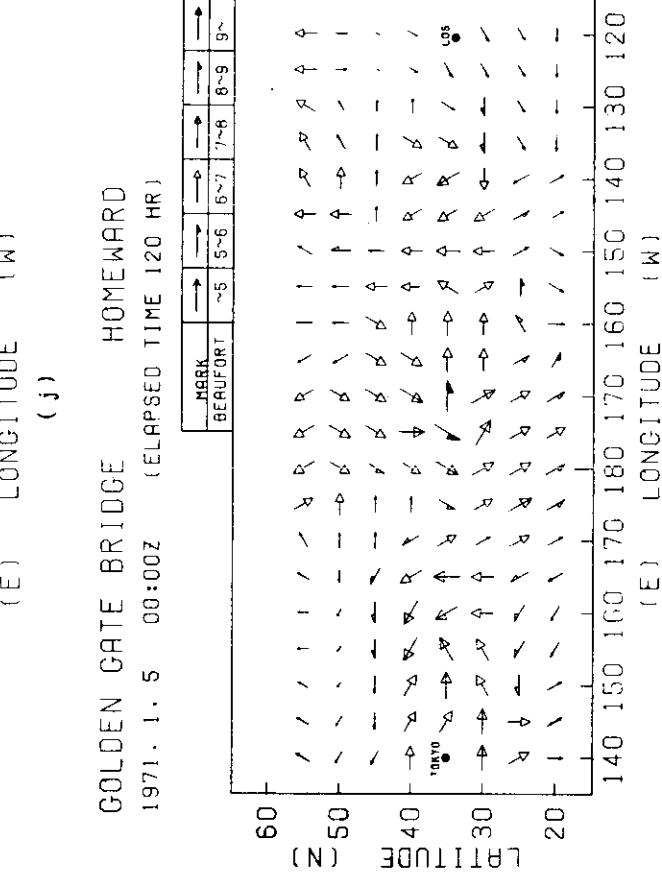


Fig. 2.27

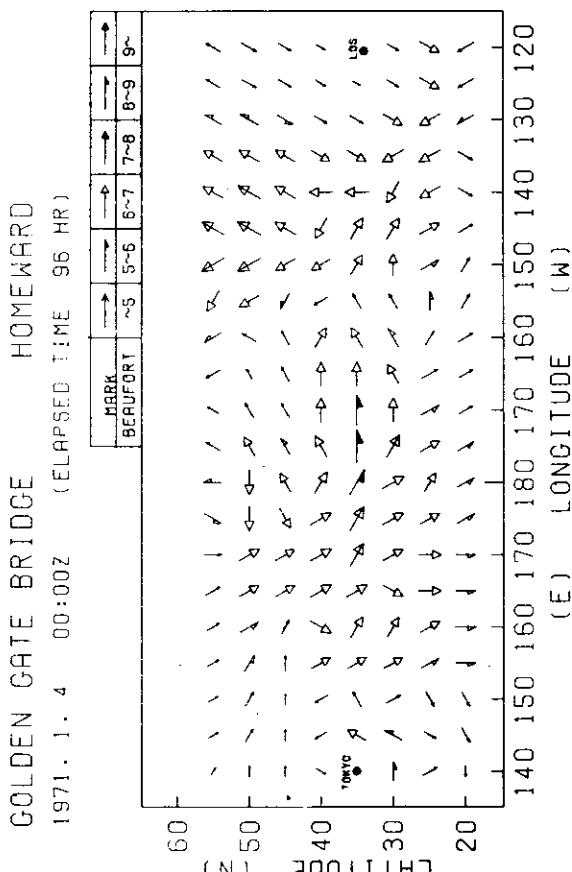


1



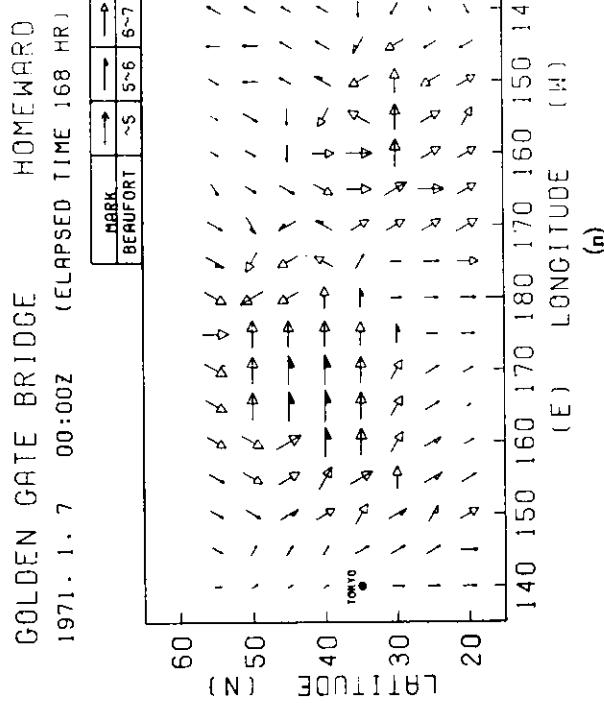
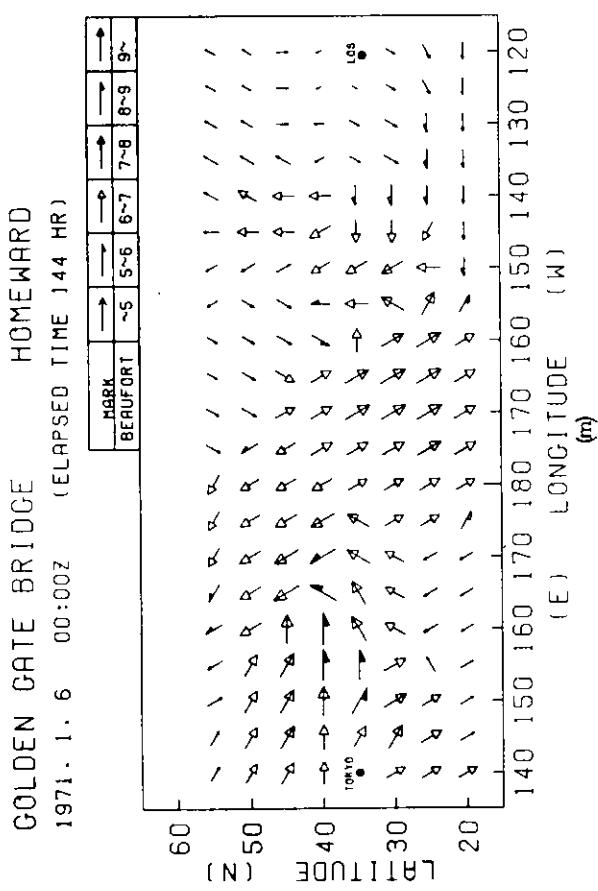
二

1

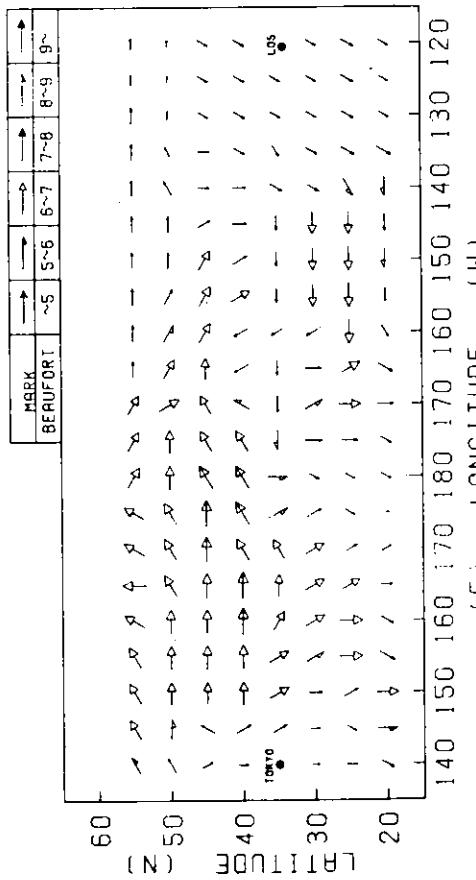


- 24 -

Fig. 2.2.7



GOLDEN GATE BRIDGE HOMEWARD  
1971. 1. 8 00:00Z (ELAPSED TIME 192 HR)



## 2.3 耐航性諸要素の計算とりまとめ

### 2.3.1 船型

SR108一軸高速コンテナ船標準船型<sup>2)</sup>のラインズを用いて、Table 2.3.1に示す3船型の満載状態について計算を行なった。3船型とも、各ステーションにおける断面の形は相似である。断面の諸係数をTable 2.3.2に示す。

計算は標準として、 $GM = 1.0\text{ m}$ のS7-175-1.0及びS8-240-1.0の線型ロール・ダンピングについて行ない、項目によりその他の状態を追加した。

### 2.3.2 計算項目

Table 2.3.3に示す各項目について計算した。

### 2.3.3 計算ケース

Fig. 2.3.1に示すフロー・チャートに従って計算を進めた。

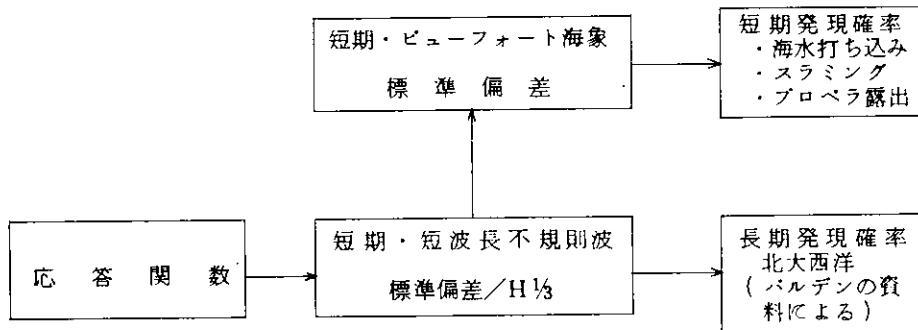


Fig. 2.3.1 計算のFlow Chart

計算ケースは次の通り。

#### ① 応答関数

船速:  $F_n = 0.0, 0.2, 0.275$  (3ケース)

波長:  $\sqrt{L/\lambda} = 0.3, 0.4, \dots, 2.0$  (18ケース)

出会い角:  $\chi = 0^\circ, 30^\circ, \dots, 180^\circ$  (7ケース)

#### ② 短期応答

短波項不規則波中の(標準偏差)/(有義波高)を計算

平均波周期:  $T = 4, 6, \dots, 18\text{ sec}$  (8ケース)

#### ③ 短期ビューフォート海象での応答

ビューフォート: 6, 7, 8, 9, 10 (5ケース)

標準偏差を計算し、さらに下記の発現確率を計算した。この際に、海水打ち込み確率及びプロペラ露出確率については、限界値を数種変えて計算した。

◦ F.P. 海水打ち込み確率 限界値: 6, 8, 10, 12, 14 m (5ケース)

◦ 8 1/2海水打ち込み確率 限界値: 6, 8, 10, 12, 14 m (5ケース)

◦ A.P. プロペラ露出確率 限界値: 2, 4, 6, 8 m (4ケース)

◦ 8 1/2スラミング発生確率

Table 2.3.5には、参考のために、船研での模型実験の際の静水中航走時の船側波高を、実船スケール ( $L_{pp} = 175\text{ m}$ ) に換算したものを示す。

#### ④ 長期発現確率(短波項不規則波)

海象発現確率はバルデンの資料(北大西洋)によった。

発現確率:  $Q = 10^{-4} \sim 10^{-10}$  ( 10 ケース )

出会い角:  $\chi = 0^\circ, 30^\circ, \dots, 180^\circ$

及び all headings ( 8 ケース )

#### 2.3.4 ロール・ダンピング

線型計算には、船研での自由横揺れ試験結果より、相当線型減衰率  $K_{e10^\circ}$  を使用した。非線型計算には、九大応力研での強制動揺試験結果より、三次式近似を採用した。詳細については、3.2 及び 3.3 を参照されたい。使用した係数を Table 2.3.6 に示す。なお S 8 に対しても S 7 と同じ値を使用した。

#### 2.3.5 座標系

座標系としては、JTTC 水槽委員会ストリップ比較小委員会統一案に従って、Fig. 2.3.2 を使用した。位相角については、波頂が船の前に来た時を基準にとり、位相進みを正とした。又、波浪荷重については同じく統一案に従って、Fig. 2.3.3 に示す様に、船体後半部が前半部に対して正の力を加える場合を正とした。

#### 2.3.6 その他の計算条件

##### ① 加速度

- 8 1/2  $\ell$  左右加速度の計算位置は次の通り。それぞれ最上段コンテナのほぼ中心位置である。

S 7-175 keel 上方 2.4 m ( デッキ上 3 段積み )

S 8-240 keel 上方 3.1 m

- 8 1/2  $\ell$  左右加速度、重心の左右加速度、重心の前後加速度については、重力成分を含む場合と含まない場合の 2 種類の計算を行なった。

• 重心の座標を ( $x_G, z_G$ ) とすると、 $\ell$  上の任意の一点 ( $x_1, z_1$ ) に於ける重力成分を含む加速度は、次の様に書ける。

$$\text{前後加速度 } a_x = \ddot{x} + (z_1 - z_G) \dot{\theta} - g\theta \quad \dots \quad (2.3.1)$$

$$\text{左右加速度 } a_y = \ddot{y} + (x_1 - x_G) \dot{\psi} - (z_1 - z_G) \dot{\varphi} + g\varphi \quad \dots \quad (2.3.2)$$

ここで  $x$ : Surge,  $\theta$ : Pitch,  $y$ : Sway,  $\psi$ : Yaw,  $\varphi$ : Roll

##### ② スラミング

- threshold velocity は次式<sup>3)</sup>より推定した。

$$V_{th.} = 0.09 \sqrt{gL} \quad \dots \quad (2.3.3)$$

S 7-175  $V_{th.} = 3.7 \text{ m/sec}$

S 8-240  $V_{th.} = 4.4 \text{ m/sec}$

##### ③ 波浪荷重

- 重量分布は実績を参考にして、総重量、慣性半径、重心位置が所定の値になるように定めた。Fig. 2.3.4 に分布を示す。

- 摂りモーメントは下記の条件で計算した。

1. 各断面の重心位置、GMは、全體のそれに一致させる。
2. (慣性モーメント十付加慣性モーメント) は、重量分布の 2 乗に比例して分布させる。
3. 横揺れ減衰力は、 $C_p$  曲線に比例して分布させる。

#### 2.3.7 横揺れ長期予測の非線型修正

横揺れについては、線型計算で長期予測を行なうと、予測値が過大になる。そのため非線型修正が必要である。Fig. 2.3.5 及び Fig. 2.3.6 は、横波状態の同調点で、横揺れの線型計算と非線型計算の結果を比較したものである。ここで得られたカーブを使って線型計算による長期予測値を修正すれば、正確妥当な値が得られると思われる。

Table 2.3.1 Principal Particulars of Ships

Ship	S 7-175	S 7-240	S 8-240
L <sub>pp</sub> (m)	175.0	240.0	240.0
B (m)	25.40	34.83	30.00
D (m)	15.40	21.12	18.19
d (m)	9.50	13.03	11.22
Δ (t)	24,742	63,820	47,331
L/B	6.89	6.89	8.0
B/d	2.67	2.67	2.67
Icb(%L <sub>pp</sub> )	1.417	1.417	1.417
C <sub>b</sub>	0.5716	0.5716	0.5716
C <sub>g</sub>	0.970	0.970	0.970
KM (m)	10.52		12.42
GM (m)	0.5 1.0 1.5		0.5 1.0 1.5
TR (sec)	25.5 18.0 14.7		30.1 21.3 17.4
$\kappa_e$	0.24	0.24	0.24

Table 2.3.2 Sections of Ship

	x/L	b/b <sub>g</sub>	T/T <sub>g</sub>	S/S <sub>g</sub>	H <sub>o</sub>	σ	Weight
F.P.	1.0	.000	.985	.059	.000	—	.119
	0.9	.123	1.000	.117	.164	.923	.260
9	0.8	.248	1.000	.192	.331	.751	.402
	0.7	.395	1.000	.293	.527	.720	.502
8	0.6	.553	1.000	.419	.738	.735	.601
	0.5	.702	1.000	.559	.937	.772	.701
7	0.4	.828	1.000	.698	1.105	.818	.802
	0.3	.920	1.000	.823	1.228	.868	.900
6	0.2	.978	1.000	.922	1.306	.914	1.000
	0.1	.999	1.000	.980	1.334	.952	1.000
5	0.0	1.000	1.000	1.000	1.335	.970	1.000
	0.1	1.000	1.000	.996	1.335	.966	1.000
4	0.2	1.000	1.000	.969	1.335	.940	1.000
	0.3	.995	1.000	.913	1.328	.890	.920
3	0.4	.970	1.000	.825	1.295	.825	.840
	0.5	.921	1.000	.708	1.230	.746	.759
2	0.6	.839	1.000	.569	1.120	.658	.679
	0.7	.716	1.000	.417	.956	.565	.599
1	0.8	.555	1.000	.263	.741	.460	.519
	0.9	.354	1.000	.101	.473	.277	.352
A.P.	1.0	.122	.074	.005	.163	—	.185

Table 2.3.3 計算項目一覧

○応答関数のみ計算  
 ◎標準偏差まで計算  
 ①長期発現確率まで計算

No	項目	GM	S 7-175						S 8-240		
			線型			非線型			線型		
			1.0	0.5	1.5	1.0 H=5m	1.0 H=10m		1.0	0.5	1.5
運動	1 HEAVE		○						○		
	2 PITCH		①	S 7-240	◎				①		
	3 SURGE		○						○		
	4 SWAY		○	○	○	○	○		○	○	○
	5 YAW		○	○	○	○	○		○	○	○
	6 ROLL		①	◎	◎	①	①		①	◎	◎
加速度	7 重心の上下加速度		①						①		
	8 重心の前後加速度		①						①		
	8G " (含重力成分)		①						①		
	9 重心の左右加速度		①						①		
	9G " (含重力成分)		①						①		
	10 F.P. たる上下加速度		①	S 7-240	◎				①		
相対運動	11 8½たる左右加速度		①	◎	◎	①	①		①	◎	◎
	11G " (含重力成分)		①	◎	◎	①	①		①	◎	◎
	12 F.P. たる相対水位		①※						①※		
波浪荷重	13 A.P. たる相対水位		①※						①※		
	14 8½たる相対水位	◎○							◎○		
	15 8½たる相対速度	◎○							◎○		
	16 8½たる船側相対水位	W L	①※	◎※	◎※				①※		
	17 縦剪断力		①						①		
荷重	18 縦曲げモーメント		①						①		
	19 横剪断力		①						①		
	20 横曲げモーメント		①						①		
	21 振りモーメント		①						①		
	22 変動水圧 W80°, W50°, 0°, L50°, L80°		①						①		

注) ※短期Beaufort海象において乾舷ベースの海水打ち込み確率計算  
 (プロペラ露出)

◎ " スラミング発生確率計算

### 2.3.8 計算例

Table 2.3.7 に計算結果の出力例を示す。又、Fig. 2.3.7 から Fig. 2.3.13 には応答関数の計算例を、Fig. 2.3.14 から Fig. 2.3.17 には短期応答の計算例を、そして Fig. 2.3.18 から Fig. 2.3.20 には長期発現確率の計算例を示す。なお、Fig. 2.3.19 には横揺れ長期予測の計算結果を示してあるが、このうち「with correction」は線型計算の結果に 2.3.7 で述べた非線形修正を施したものである。

Table 2.3.4 Ship Speed

Fn	Ship	
	S7-175	S7-240 S8-240
0.0	0.0	0.0
0.2	16.11	18.86
0.275	22.15	25.93

Table 2.3.5 Wave Height at Hull Side  
of S7-175 in Calm Water

Fn	S.S.	(m)				
		stem	9 1/2	9	8 1/2	8
0.2	0.88	0.41	0.16	0.41	0.47	
0.275	1.43	2.43	1.36	0.77	0.37	

Table 2.3.6 Damping Coefficient

◦ Linear ( $K_e 10^{\circ}$ )

Fn	GM	1.5		
		1.0	0.5	
0.0	0.064	0.062	0.078	
0.2	0.132	0.136	0.174	
0.275	0.140	0.159	0.189	

◦ Non-Linear (GM = 1.0 m)

Fn	$\hat{B}_1$	$\hat{B}_2$	$\hat{B}_3$
0.0	0.00082	0.03690	0.08474
0.2	0.00501	0.02328	0.06701
0.275	0.00671	0.01402	0.05097

### 参考文献

- 1) 田才福造：「肥大船の耐航性能に関する研究」，西部造船会会報，第37号，昭和44年2月
- 2) SR108 昭和44年度報告：研究資料No.110, 昭和45年3月
- 3) 中村彰一：「耐航性の諸要素」，耐航性に関するシンポジウムテキスト，昭和44年7月
- 4) 小林正典他：「船舶の耐航性に関する理論計算プログラム」，三井造船技報，第82号，昭和48年4月
- 5) 土屋孟：「漁船の復元性能の理論的解析法について」，漁船研究技報，第57号，昭和46年3月
- 6) SR108 昭和46年度報告：研究資料No.143, 昭和47年3月
- 7) SR125 昭和47年度報告：研究資料No.171, 昭和48年3月
- 8) SR125 昭和48年度報告：研究資料No.188, 昭和49年3月
- 9) Y.Yamanouchi & A.Ogawa: Papers of S.R.I., Supplement No.2, 1970
- 10) SR108 昭和45年度報告：研究資料No.125, 昭和46年3月

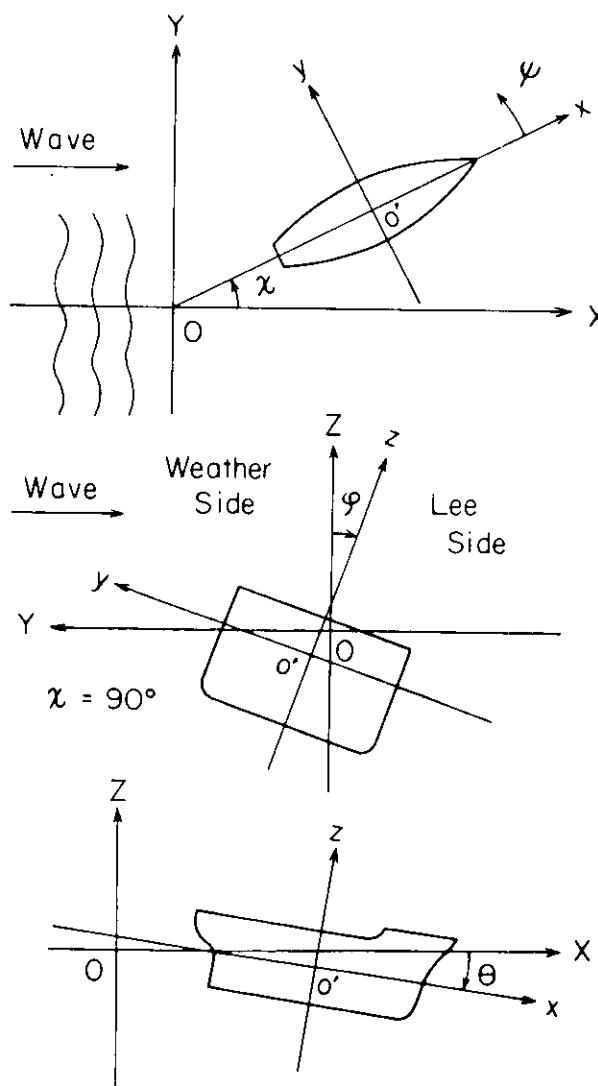
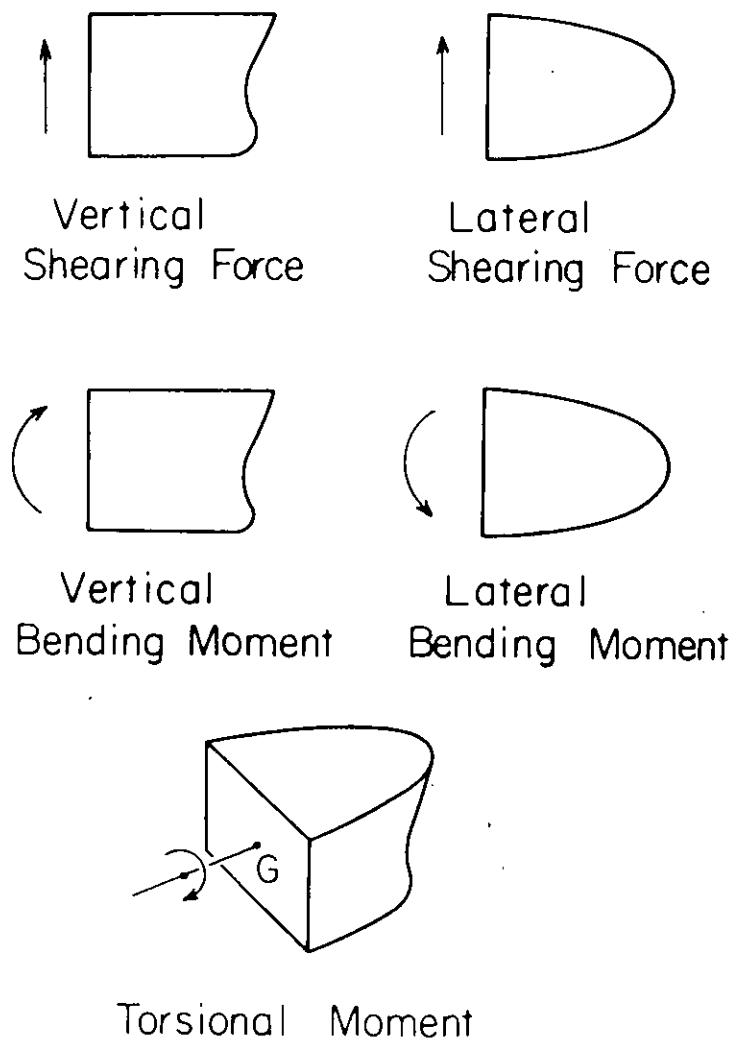


Fig. 2.3.2 Co-ordinate System

Table 2.3.7 Results of Calculation

C. ** IN REGULAR WAVES & $\beta = \text{AND } \gamma = 0.2 * D_{\text{AI}} * \text{WAVE LENGTH}$									
EQU. 275. CUTOFFS : 0.15					MIDPOSITION > 0.1 PHASE MELI				
HEAD PERIOD					HEAD				
0.3					0.150 (HEAD)				
0.4					0.150 (HEAD)				
0.5					0.150 (HEAD)				
0.6					0.150 (HEAD)				
0.7					0.150 (HEAD)				
0.8					0.150 (HEAD)				
0.9					0.150 (HEAD)				
1.0					0.150 (HEAD)				
1.1					0.150 (HEAD)				
1.2					0.150 (HEAD)				
1.3					0.150 (HEAD)				
1.4					0.150 (HEAD)				
1.5					0.150 (HEAD)				
1.6					0.150 (HEAD)				
1.7					0.150 (HEAD)				
1.8					0.150 (HEAD)				
1.9					0.150 (HEAD)				
2.0					0.150 (HEAD)				
C. ** IN SHORT-CRESTED IRREGULAR WAVES ***									
< STANDARD DEVIATION / WAVE HEIGHT --- DEGREE / M >					< STANDARD DEVIATION / WAVE HEIGHT --- DEGREE / M >				
WAVE PERIOD					HEAD				
4					0.008				
6					0.110				
8					0.246				
10					0.287				
12					0.273				
14					0.257				
16					0.242				
18					0.210				
20					0.181				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
7					1.401				
9					2.023				
11					2.532				
13					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				
8					2.759				
C. ** IN LONGITUDINAL DISTRIBUTION PREDICTED IN THE NORTH ATLANTIC ***									
< TENDENCY >					HEAD				
TENDENCY					0.857				
2					1.401				
4					2.023				
6					2.532				



Torsional Moment

Fig. 2.3.3 "Positive" Force and Moment

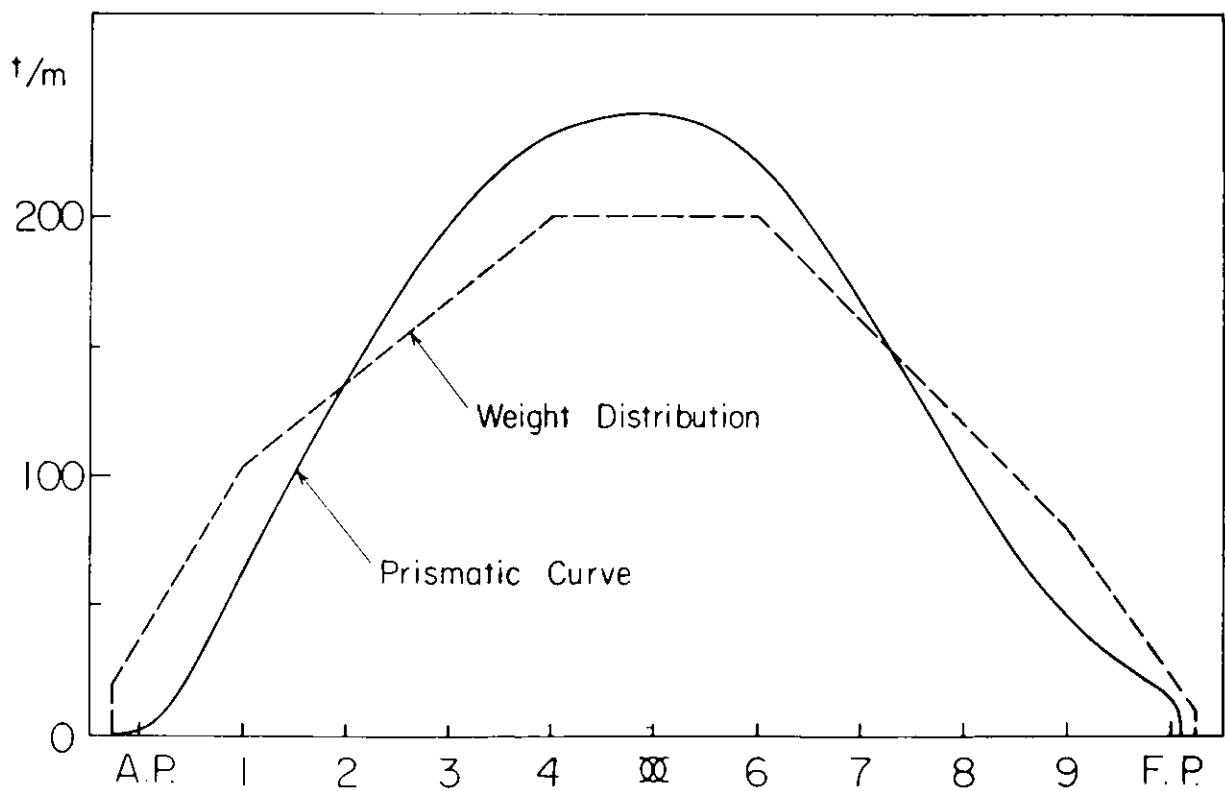


Fig. 2.3.4 Weight Distribution of S7-175

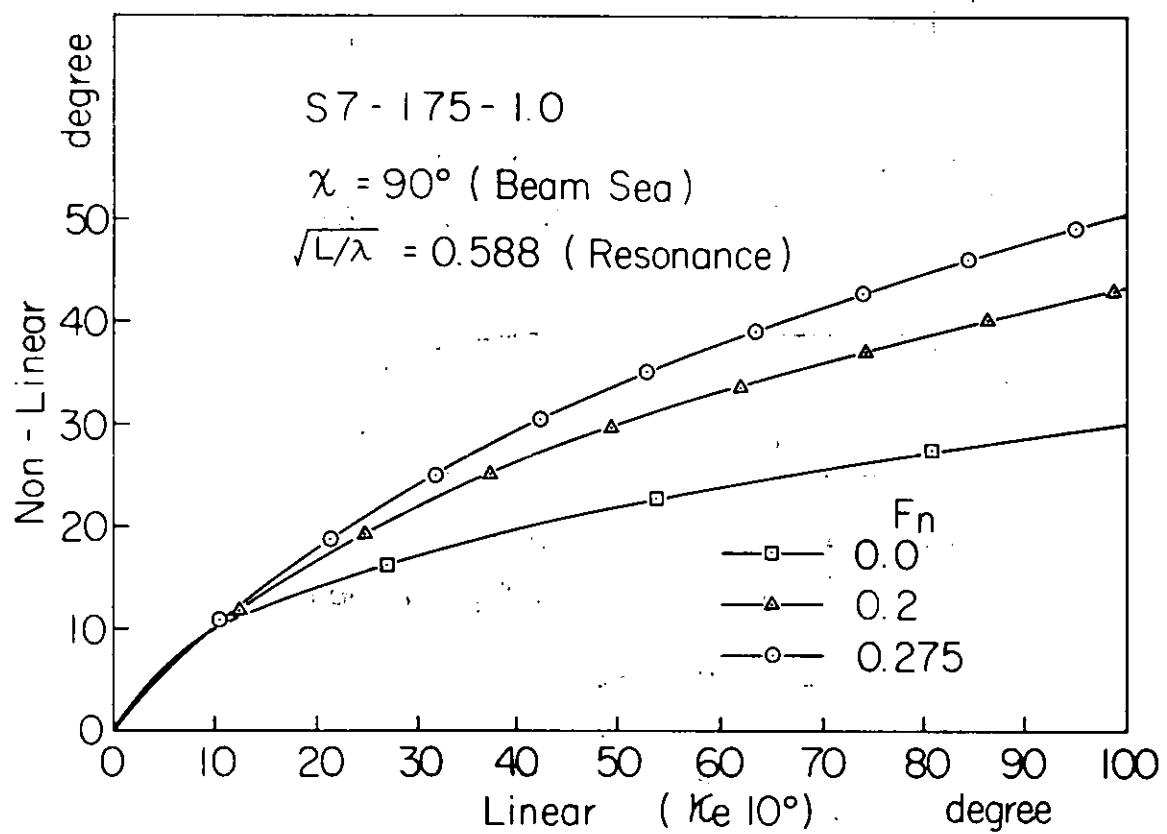


Fig. 2.3.5 Non-Linear Correction of Long-Term Probability

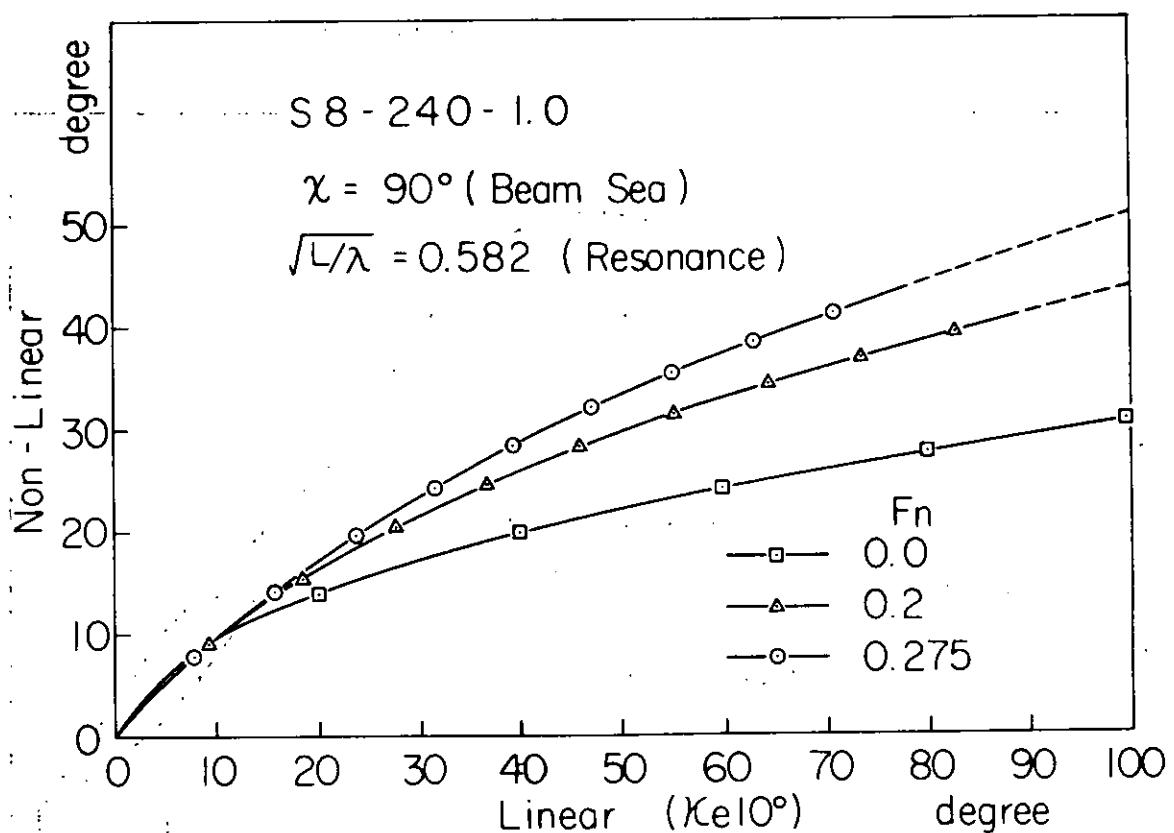


Fig. 2.3.6 Non-Linear Correction of Long-Term Probability

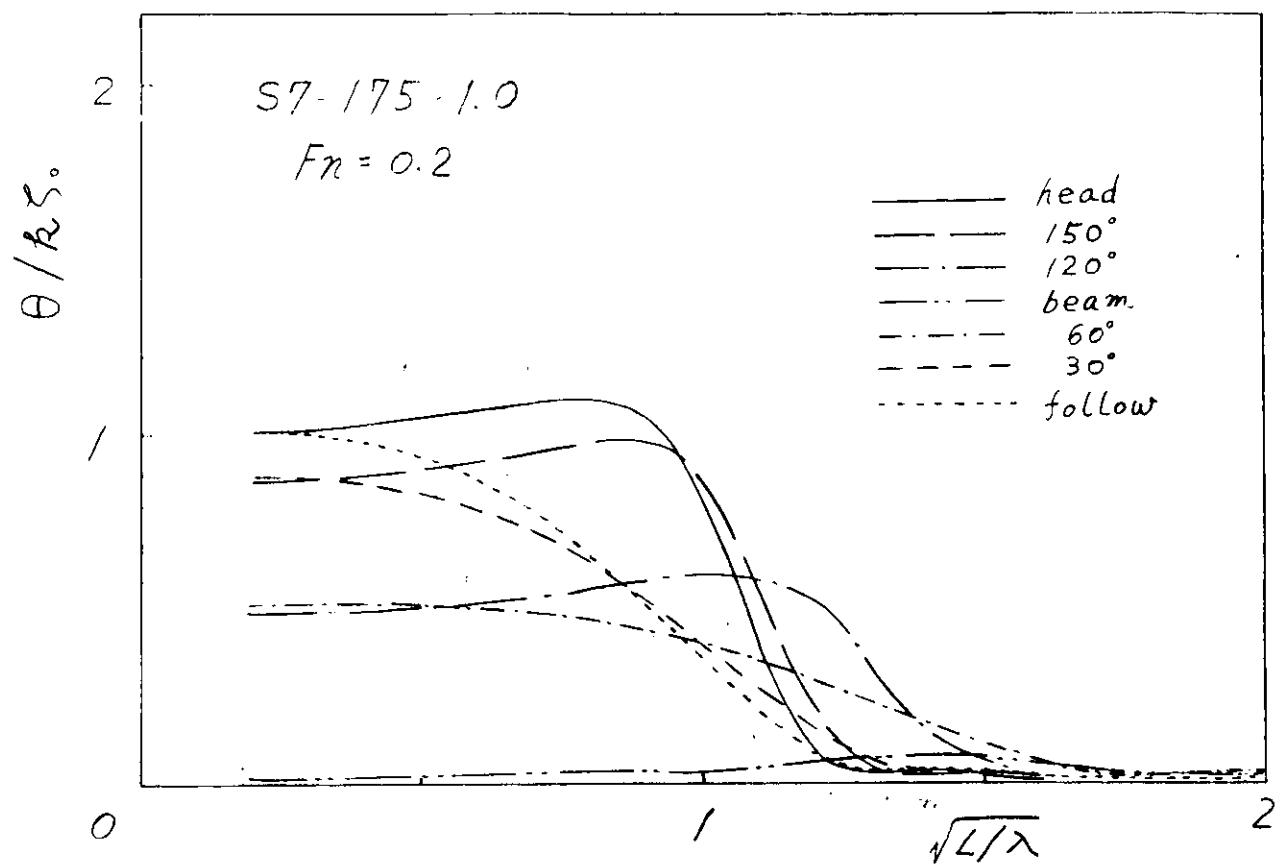


Fig. 2.3.7 Pitch

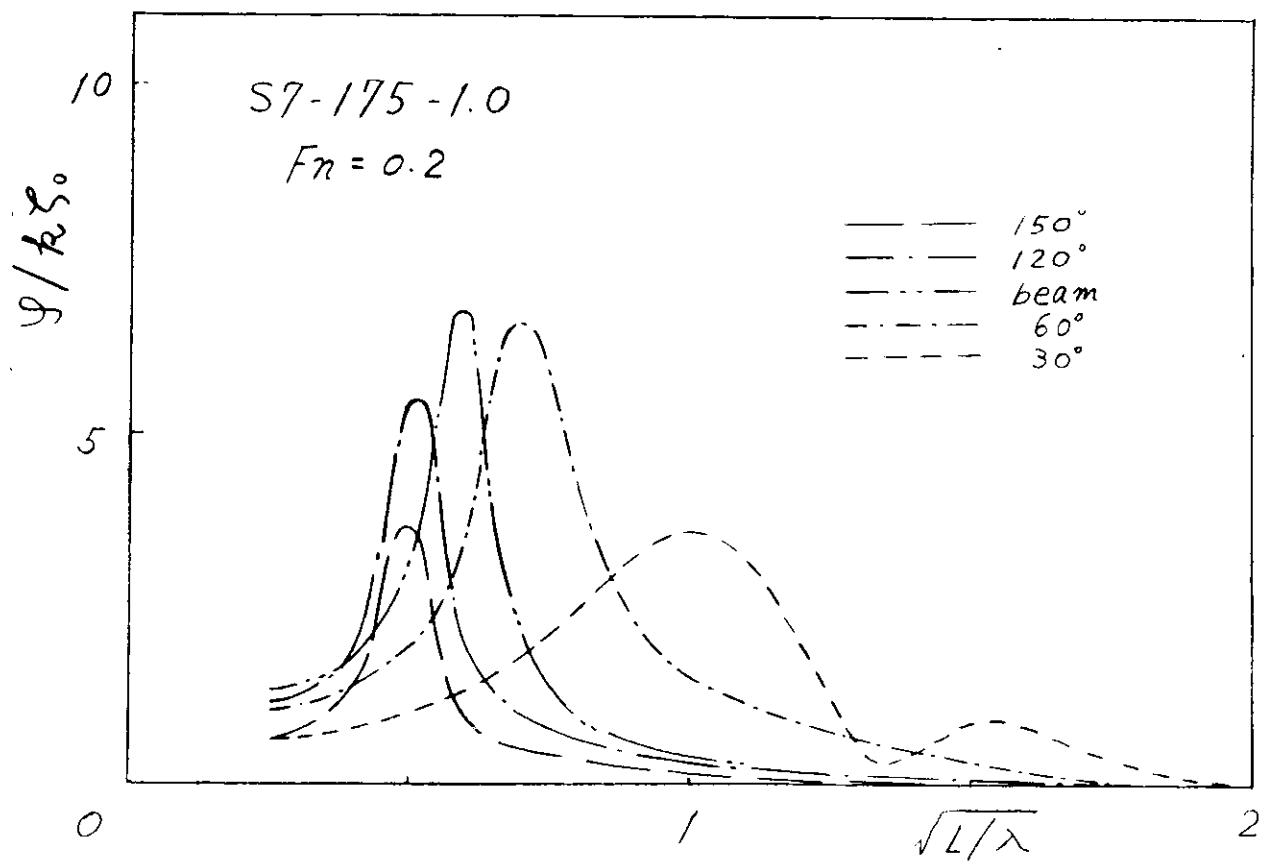


Fig. 2.3.8 Roll (Linear)

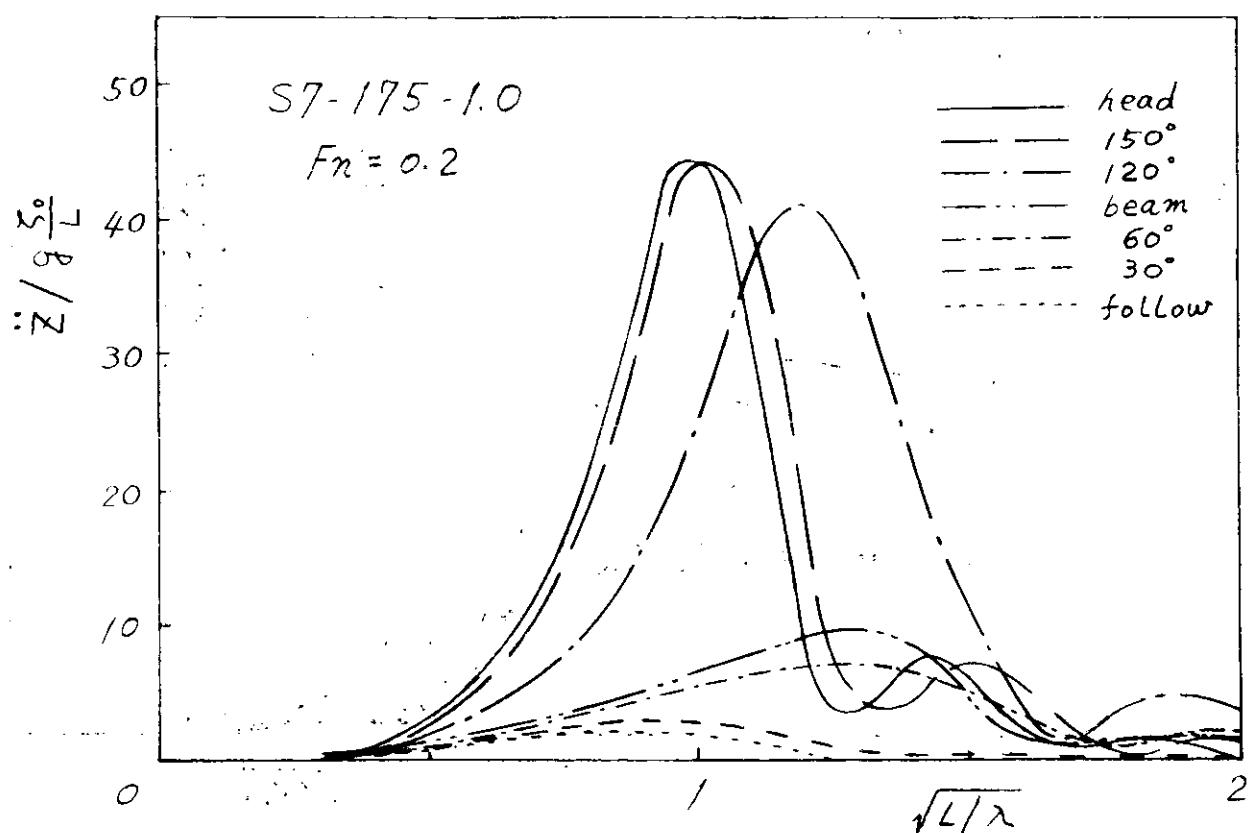


Fig. 2.3.9 Vertical Acceleration at F.P.

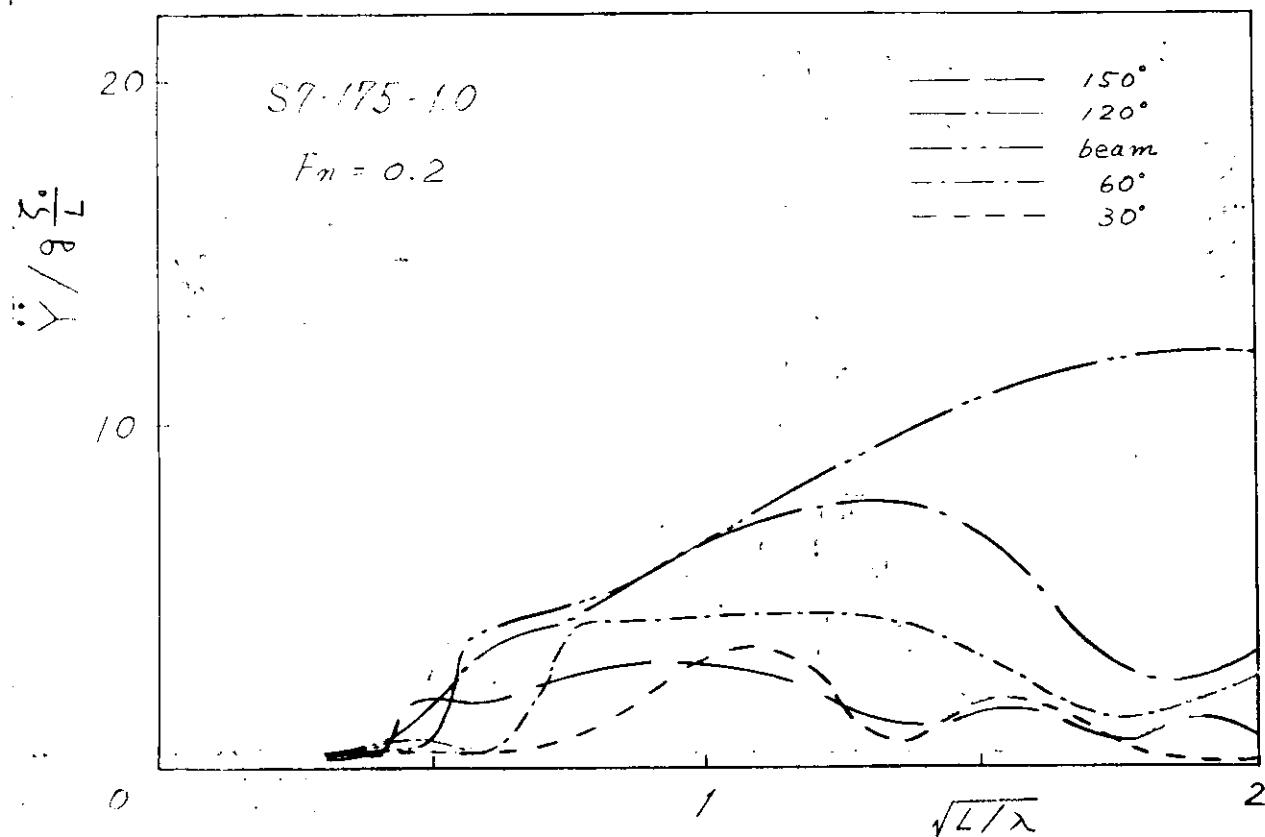


Fig. 2.3.10 Lateral Acceleration at S.S.  $8\frac{1}{2}$  ft above Keel Line (Exclude Gravity Component, Roll Linear)

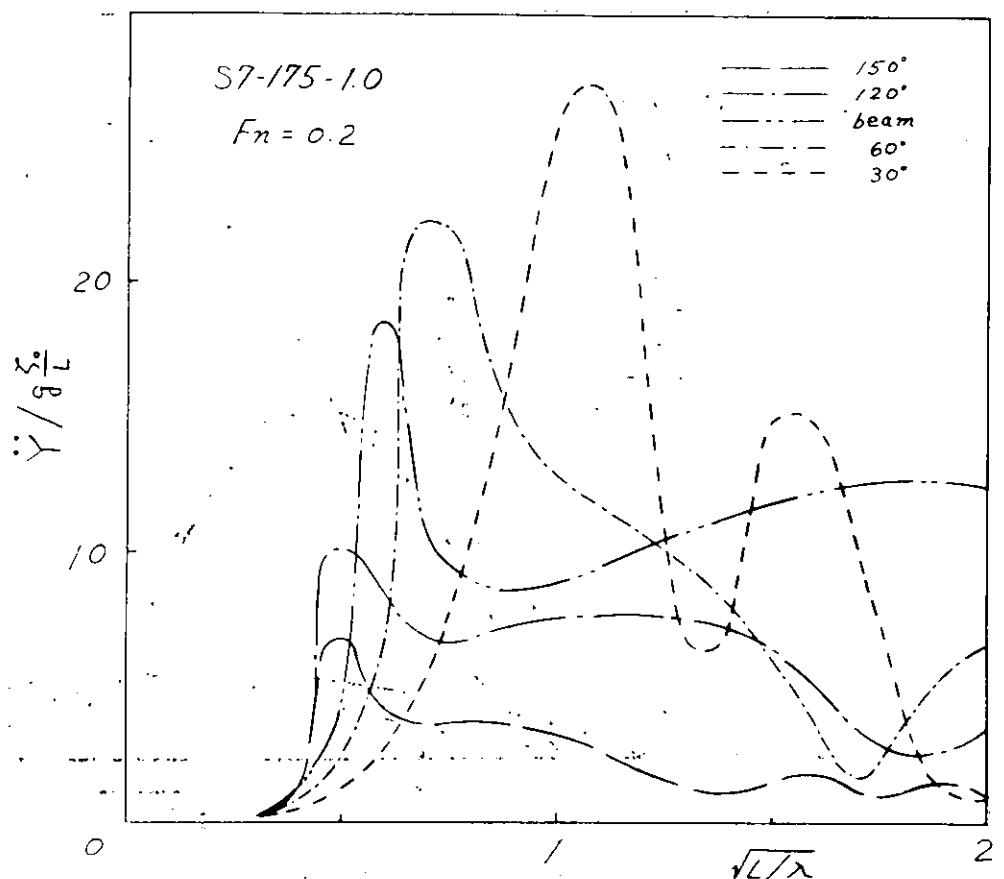


Fig. 2.3.11 Lateral Acceleration at S.S.  $8\frac{1}{2}$  ft 24m above Keel Line (Include Gravity Component, Roll Linear)

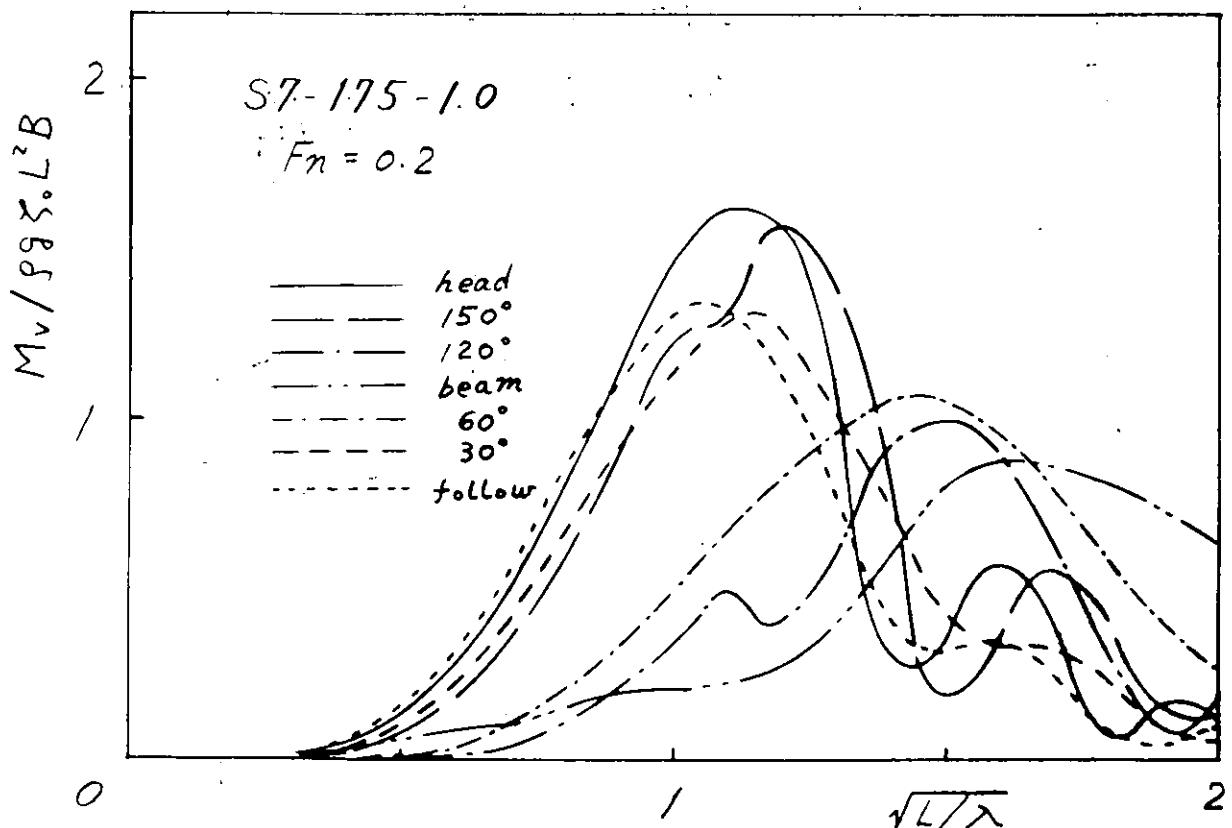


Fig. 2.3.12 Vertical Bending Moment at  $\infty$

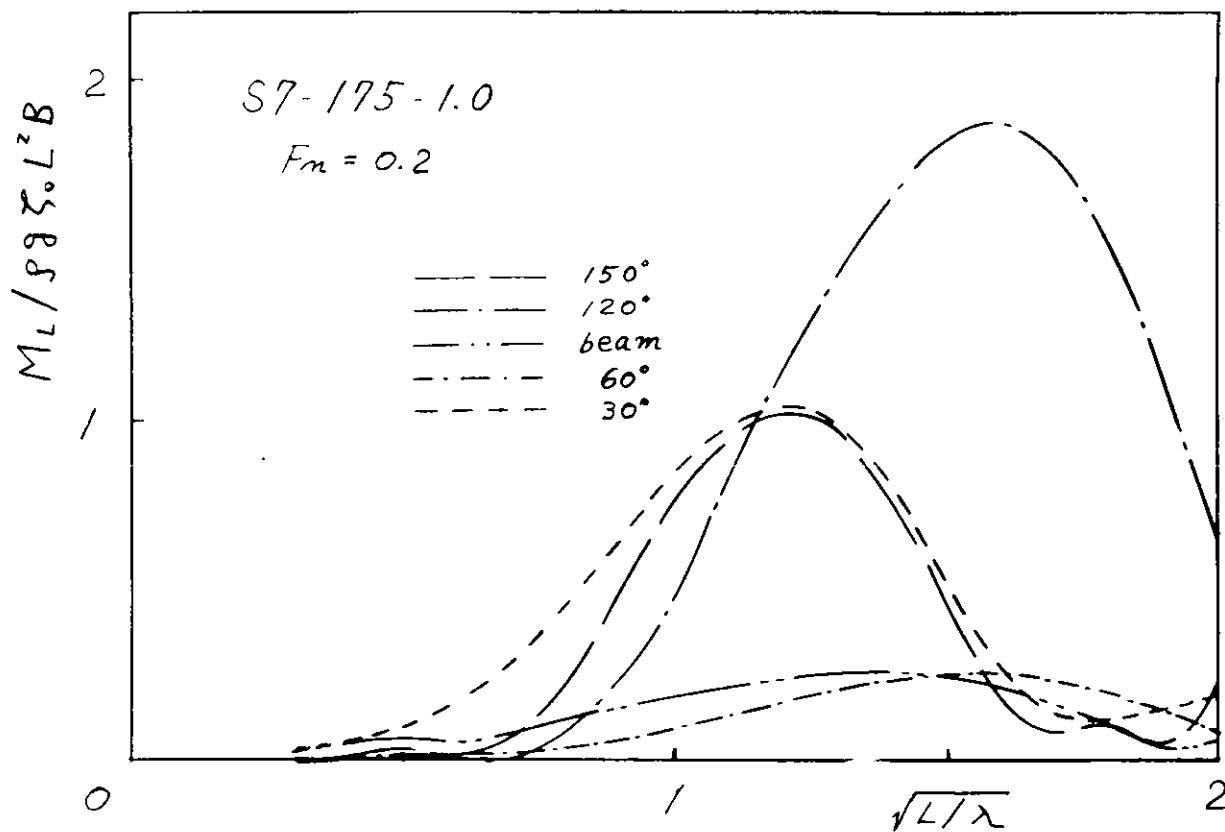


Fig. 2.3.13 Lateral Bending Moment at  $\otimes$

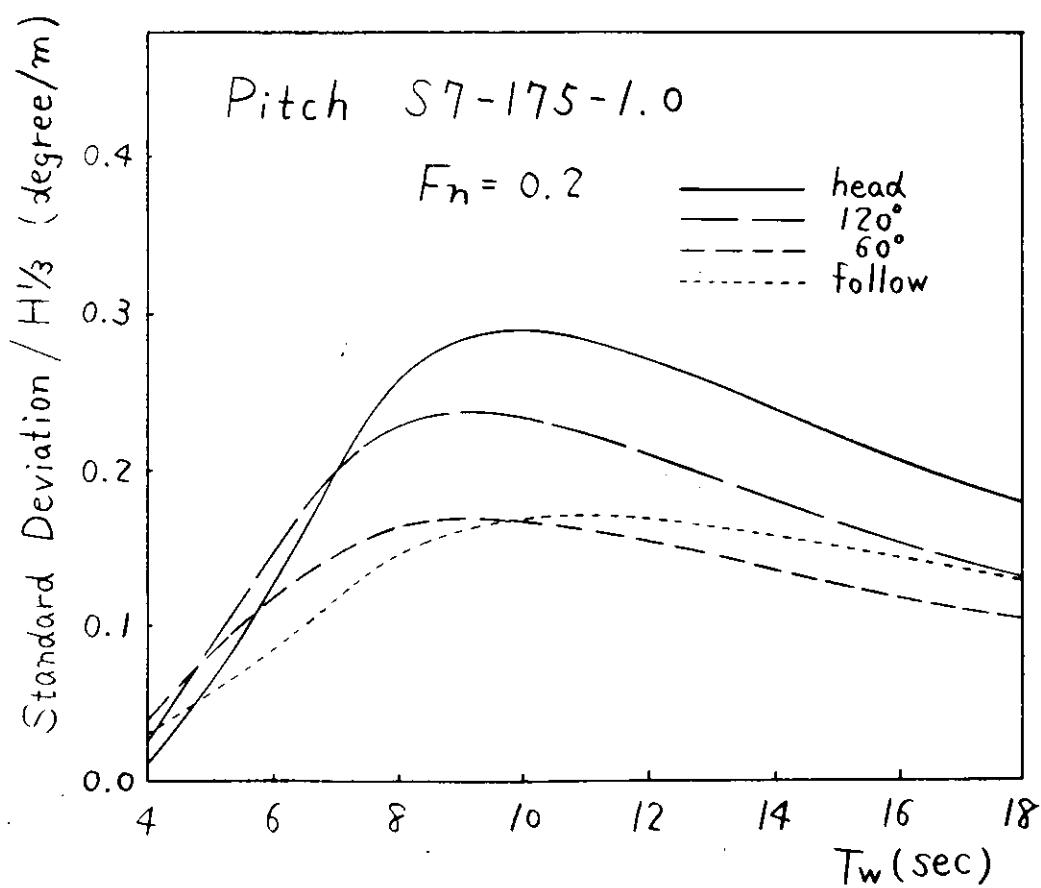


Fig. 2.3.14 Standard Deviation in Short-Crested Irregular Waves

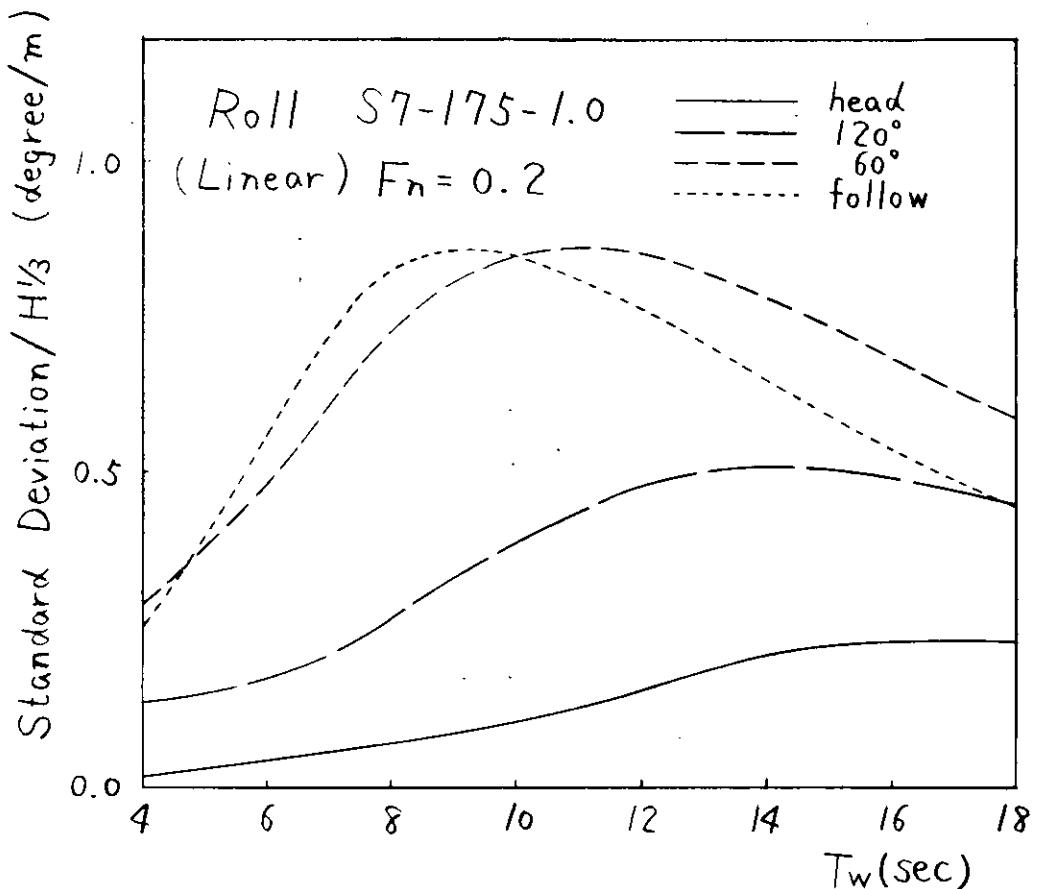


Fig. 2.3.15 Standard Deviation in Short-Crested Irregular Waves

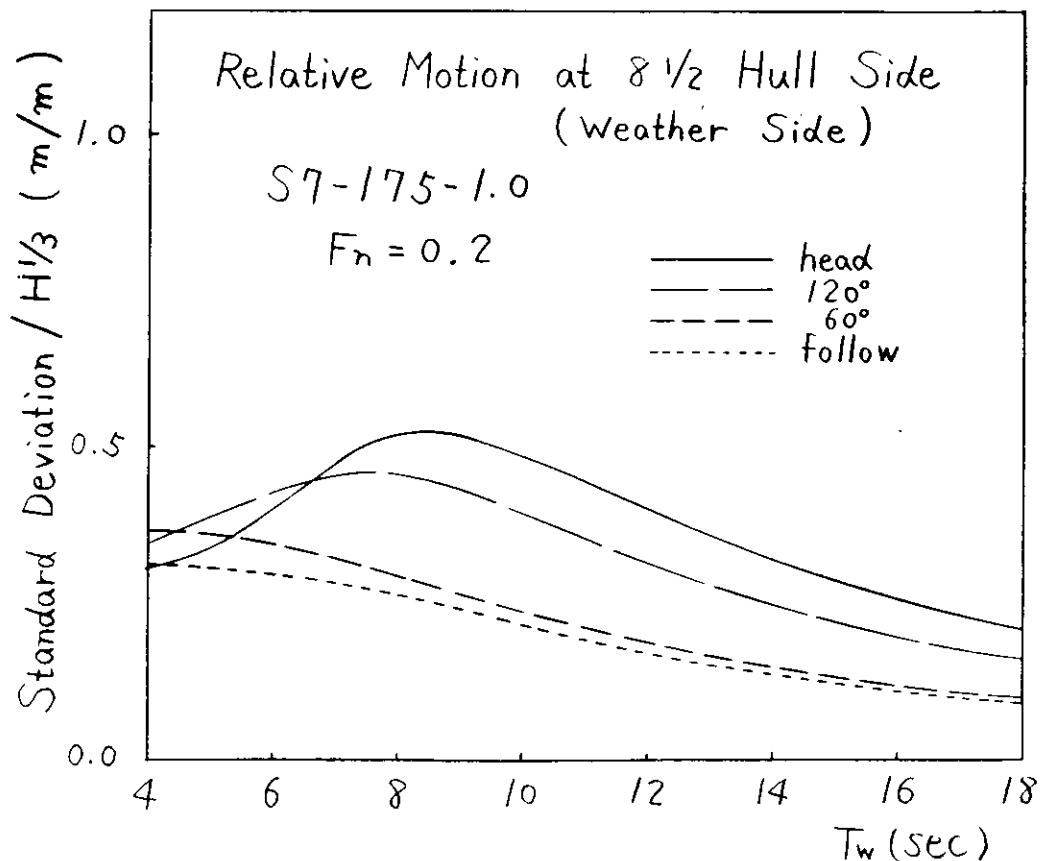


Fig. 2.3.16 Standard Deviation in Short-Crested Irregular Waves

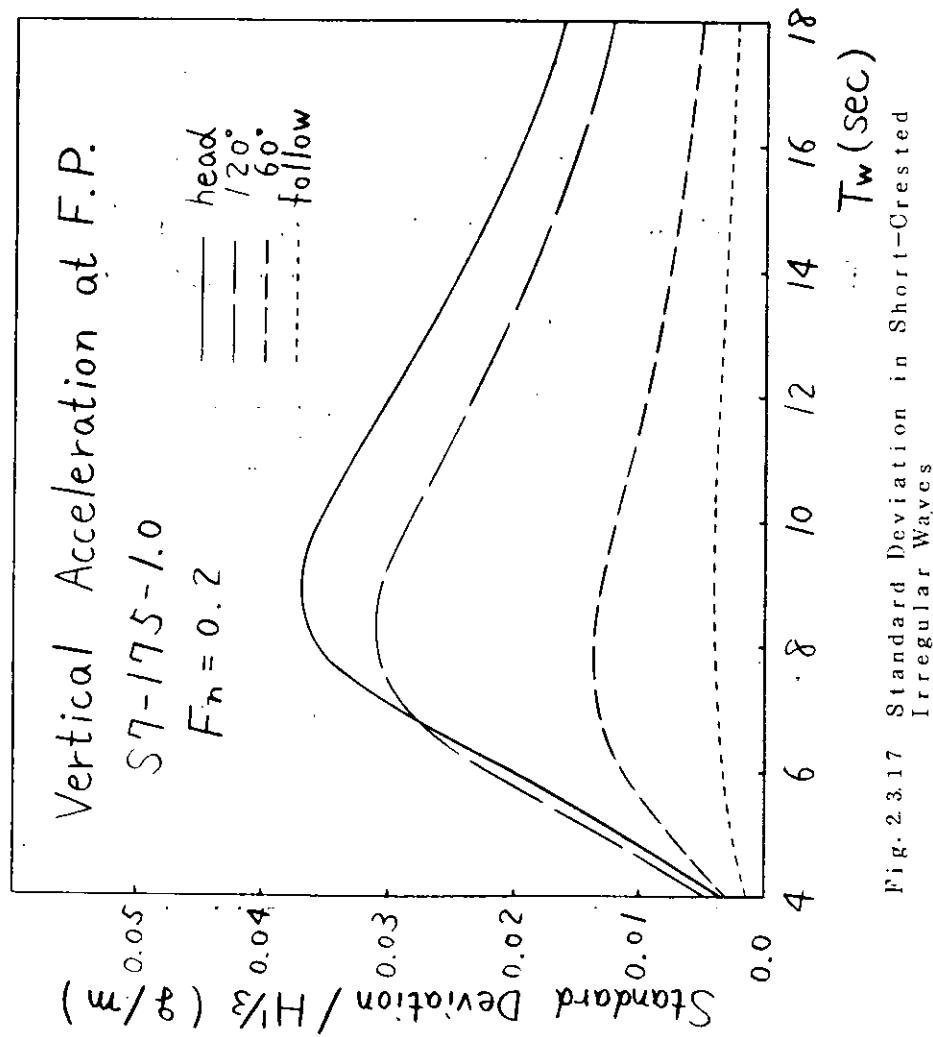
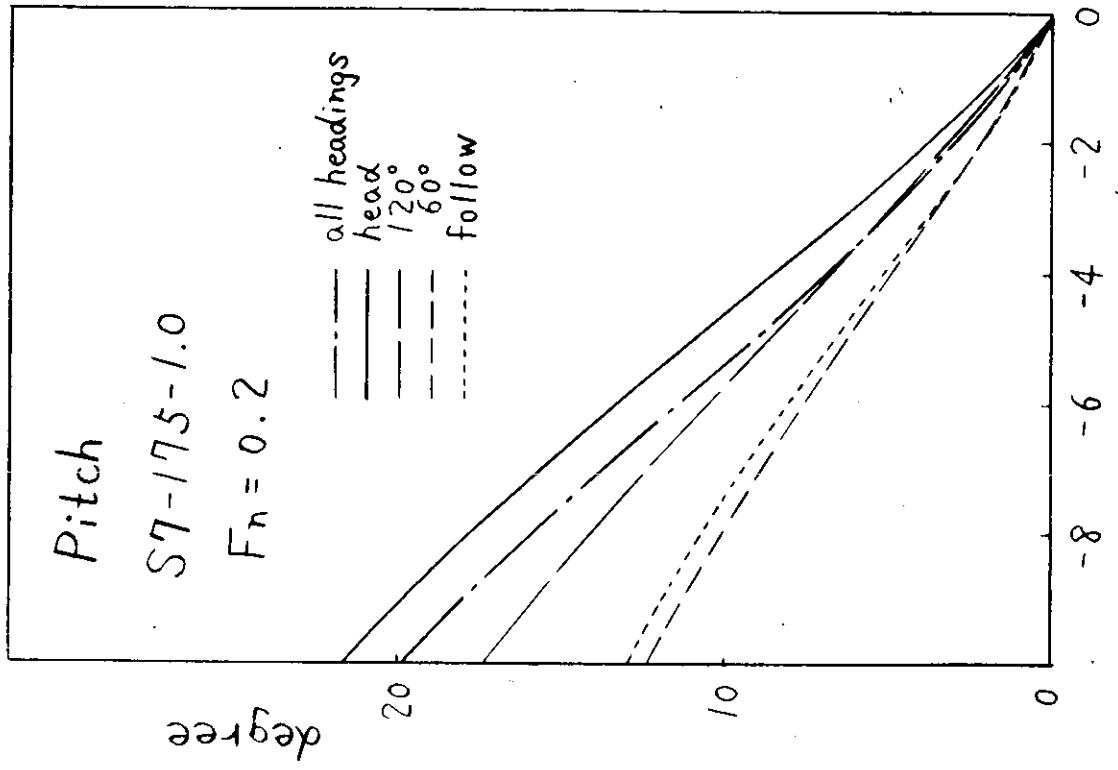


Fig. 2.3.17 Standard Deviation in Short-Crested Irregular Waves

Fig. 2.3.18 Long-term Distribution in Short-Crested Irregular Seas

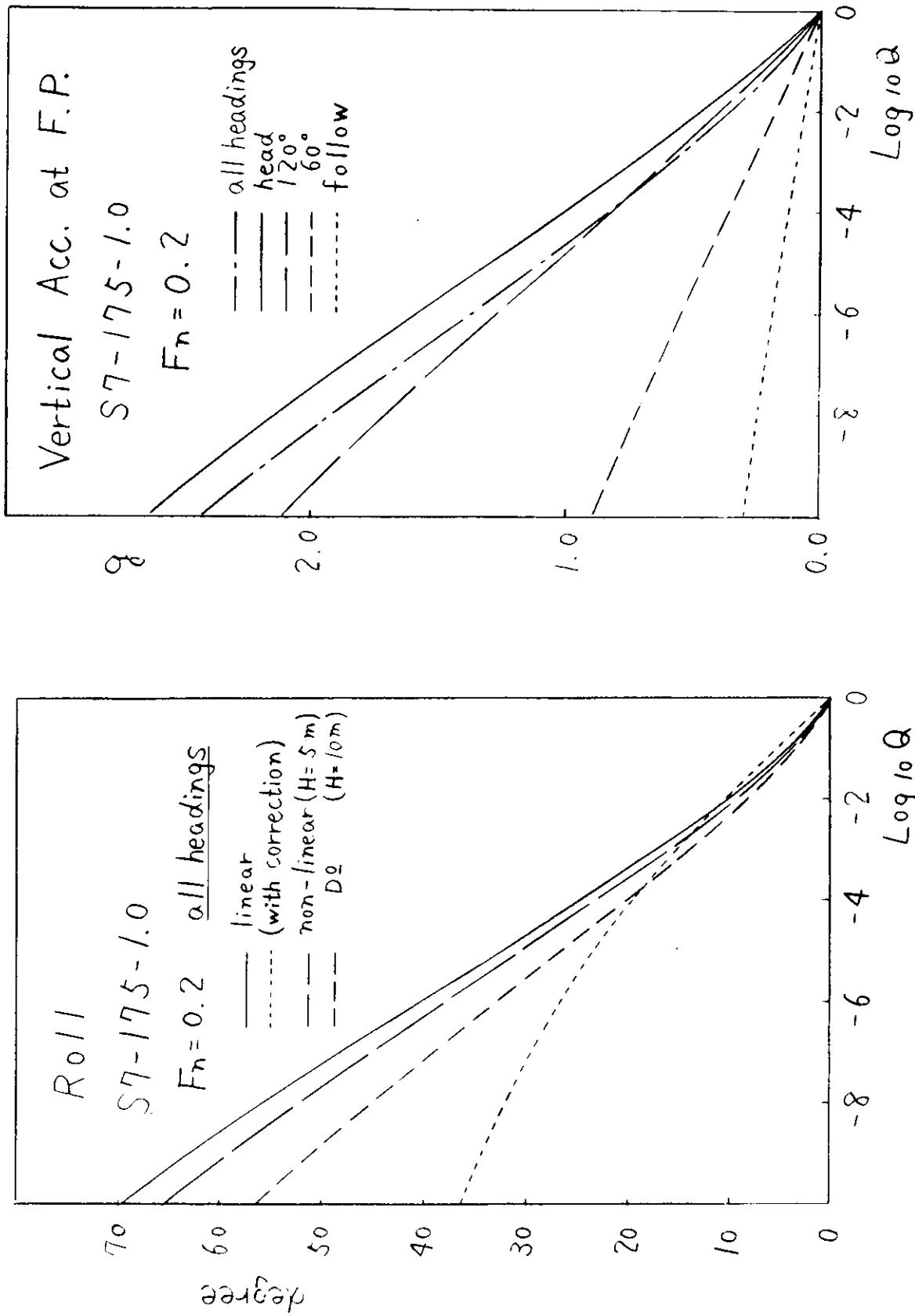


Fig. 2.3.19 Long-term Distribution in Short-crested Irregular Seas

Fig. 2.3.20 Long-term Distribution in Short-crested Irregular Seas

### 3. 模 型 実 験

#### 3.1 斜め波中の波浪圧力

##### 3.1.1 はしがき

前年度に行った斜め波中の波浪圧力に関する模型実験の結果を用い、規則波中の変動水圧に対する実験と計算の比較不規則波中の船首部衝撃水圧の頻度分布の解析を行なった。変動水圧の理論計算には、2.3で述べられた結果を用いている。

##### 3.1.2 變動水圧の実験と計算の比較

変動水圧を測定した5つの船体横断面のうちから代表的なものとして Sq. St. 8 1/2 及び Sq. St. 5 (Midship) を選び、船側及び船底の変動水圧の振幅について模型実験とストリップ法に基く理論計算(2.3参照)との比較を行う。Fig. 3.1.2～Fig. 3.1.7に結果を、出合角別に示すが、これらの図中で実線は LWLにおける変動水圧の計算値であり、これに対応する実験値として、その断面側方の相対水位変動を○印で示した。ただし、相対水位の測定位置は船側から約4cm離れたところであるので実験と計算の定量的な比較のためには、船側の相対水位変動が船体表面からの距離によってどのように変化するか調べなければならないが、本報告では船側の変動水圧との対応を大まかに見る意味で、この実験点を記入したものである。

鎖線は船側の LWLより 2.45 m 下方における点の、点線は船底中心線上における点の変動水圧の計算値を示したもので前者の実験値は△印及び▲印、後者の実験値は×印で示した。このうち△印及び▲印は、船側で測定した変動水圧の波形が、水圧測定点が空中に露出することにより一方の山が切りとられた、いわゆる半端形波形であるとき Fig. 3.1.1 に示すような別々の解析法によったのを区別したものである。

実験と計算の比較に関して次のようなことが認められる。

- (a) St. 8 1/2 の変動水圧では、船側、船底とも、応答が大きくなる向い波及び斜め向い波中で実験と計算とは、ピークで実験値がやや低く、短波長の場合には実験値の方がやや高くなっている。斜め追波中では船底の点の実験値と計算値はかなり近い値を示すが、船側の点では両者の差が大きい。
- (b) St. 5 の変動水圧では、横波及び斜め追波中で計算値と実験値は定性的に一致が良いが、向波及び斜め向波中では船側の計算値に現れる応答の山が実験値に現われず、また船底の計算値が実験値に比べてかなり小さい等、両者の差が顕著である。

従って、船体運動に関しては Fig. 3.1.8～Fig. 3.1.10 に示すようにストリップ法による計算が実験とよく合うのに対して、変動水圧に関しては、ストリップ法による計算が実験値と合わない場合があり、しかもその場所により異なるので、ストリップ法の計算の適用に対しては実験値による補正をするなどの考慮を払う必要があると思われる。

なお、上記の代表点以外の点の変動水圧に関しては現在なお解析中である。特に水面付近の点に現われる半端形波形の解析に関しては、相対水位変動との関連や、波形自体の形状の特異性とも併せてさらに詳しく検討する必要があるので追加実験を行い、これも現在解析中である。

##### 3.1.3 不規則波中の衝撃水圧

船首 St. em 及び Sq. St. 9 1/2 における水面上のフレア一部の点 2ヶ所における衝撃水圧については、規則波中の実験結果は前報<sup>1)</sup>に示したので、本報告では不規則波中の実験結果を述べる。不規則波は Beaufort 8 に相当するものを中心にした。この風力は、コンテナ船の運航において減速あるいは変針等の荒天避航を行うかどうかの境界に当る海象とを考えることができるので、この波浪状態での測定結果を頻度分布の形で表し衝撃水圧の大きさの大略のオーダを見ることも有意義である。Fig. 3.1.11～Fig. 3.1.14 に、衝撃水圧の頻度分布を示す。これらの図から次のような点がうかがわれる。

- (a) 船首 stem の衝撃圧は向い波中で最も大きく、また船速に従って大きくなる。これは Fig. 3.1.15 の規則波中の傾向と同じである。
- (b) 計測された最大衝撃圧は 3.2 m 水頭で、これはその時の有義波高の 4.4 倍程度である。
- (c) ST, 9 1/2 のフレア側面の衝撃圧は船首 stem の値より一般に小さくまた船速による変化も少いが、向い波中よりも  $\chi = 150^\circ$  の斜め向い波中の方がやや大きい値となっている。また stem の 1/3 程度であったのと比べると、それ程の差がない。即ち船首船側のフレア一部の衝撃水圧は規則波中より不規則波中で大きい値を示すと言える。衝撲水圧の発生機構や、規則波中の衝撲圧の関連性などは今後さらに検討しなければならない点であろう。

(a) 解析法(1)△印

$$p_a \text{ for } t_a = t_b$$

(b) 解析法(2)▲印

$$p_a = p_t - p_o$$

$$p_o = \rho g h_o$$

ここで  $h_o$  は水圧測定点の静止時水深である。

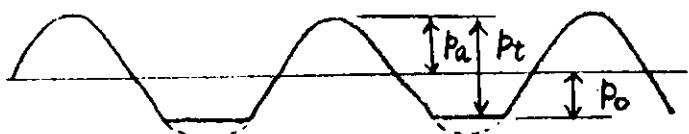
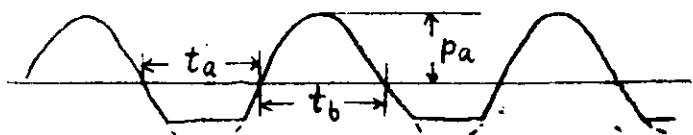


Fig. 3.1.1 水圧波形の解析法

## 3.2 横揺れ減衰力

### 3.2.1 はしがき

$L/B = 6.89$ , 1 軸の S-7 船型の模型船 2 隻を用いて、曳航中の自由横揺れ試験を行なった。この実験の目的は、理論計算(2.3)に用いるデータを提供すること、並びに強制動搖試験法(3.3)で求めた横揺れ減衰力と比較することの 2 点である。

### 3.2.2 実験状態

模型船の実験状態は Table 3.2.1 に示すような値とした。実験装置の概略図を Fig. 3.2.1 に示す。この装置では模型船の重心を通る前後軸と、横揺れ軸とを一致させており、縦揺れ、上下揺れ、横揺れが自由で、前後揺れ、左右揺れ及び船首揺れが拘束されている。横揺れ角の検出は、模型船に積んだバーチカルジャイロによった。3 m の模型船では上記装置を使用せず同じ機能を持つ小型の装置を用いた。

### 3.2.3 実験結果

実験の結果を Fig. 3.2.2 ~ Fig. 3.2.5 に示す。Fig. 3.2.2 は、S-7 の 4.5 m 模型で、 $\bar{GM}$  を変えた場合の横揺れ減衰率  $\kappa$  をフルード数ベースに示したもので、 $\kappa$  の値としては横揺れ角  $10^\circ$  における値をとっている。これによると  $\bar{GM}$  が小さく横揺れ固有周期  $T_R$  が大きい場合に  $\kappa$  の値が他に比べて大きい。 $\bar{GM}$  が大きい場合の  $\kappa$  の値には著しい差は見られない。この傾向は、田中ほかの Fig. 7 に示されているのと同じ傾向である。<sup>1)</sup>

Fig. 3.2.3 は、S-7 の満載状態と常用状態の  $\kappa$  の値を比較したもので、常用状態の方が大き目の値となることがわかる。

### 3.2.4 強制動搖試験との比較

強制横揺れの運動方程式は線形を仮定すると、次式で表される。

$$(J_{44} + A_{44})\ddot{\phi} + B_{44}\dot{\phi} + C_{44}\phi = M\varphi \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.1)$$

減衰係数  $B_{44}$  は次式のように無次元化される。

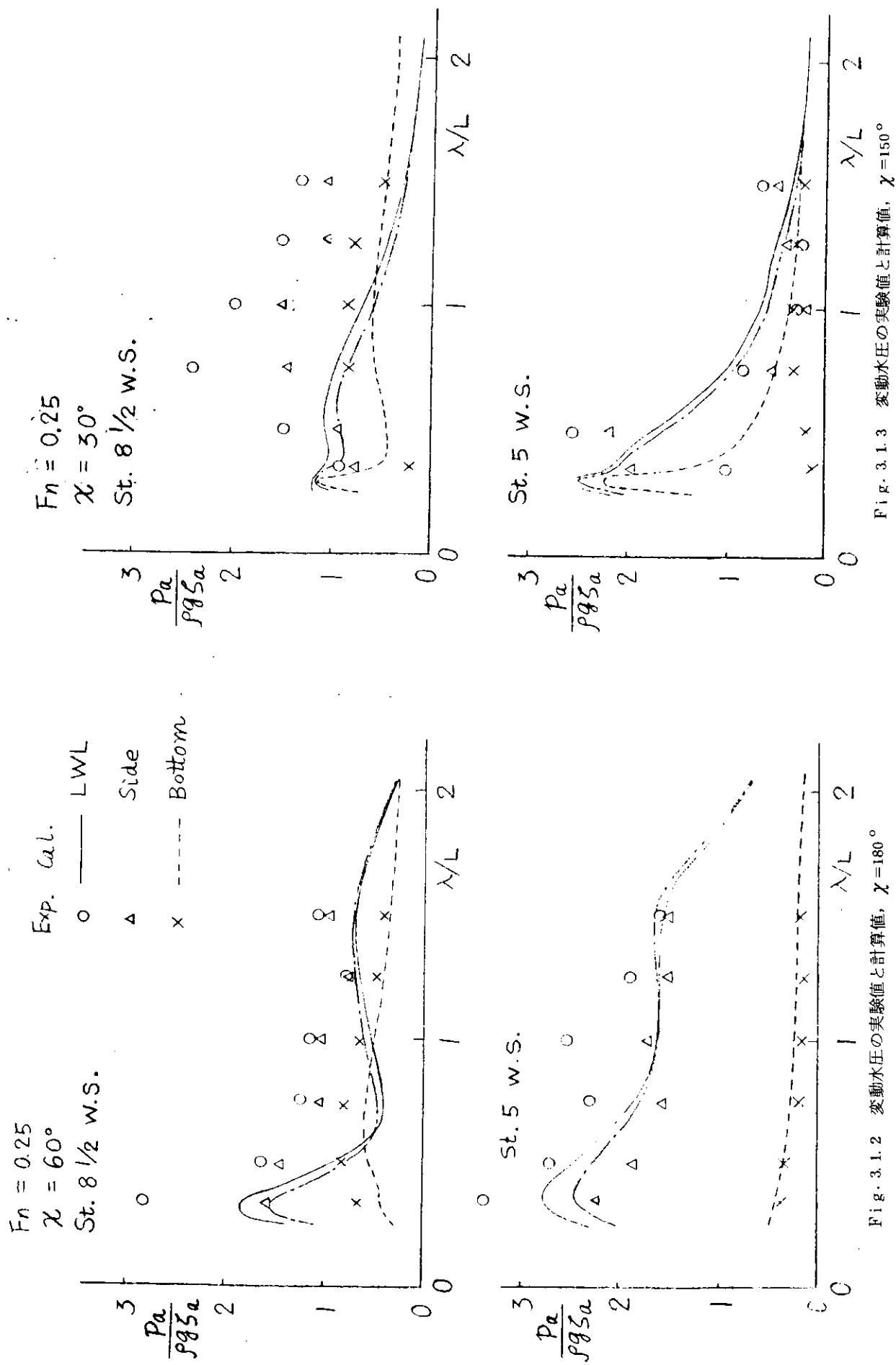


Fig. 3.1.3 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 150^\circ$

Fig. 3.1.2 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 180^\circ$

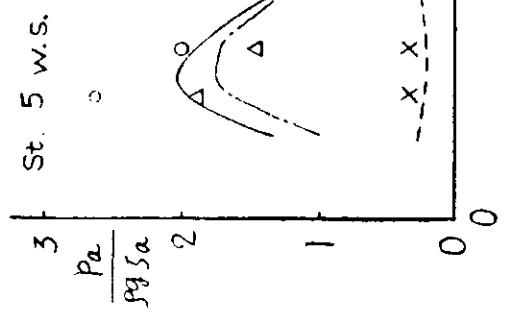
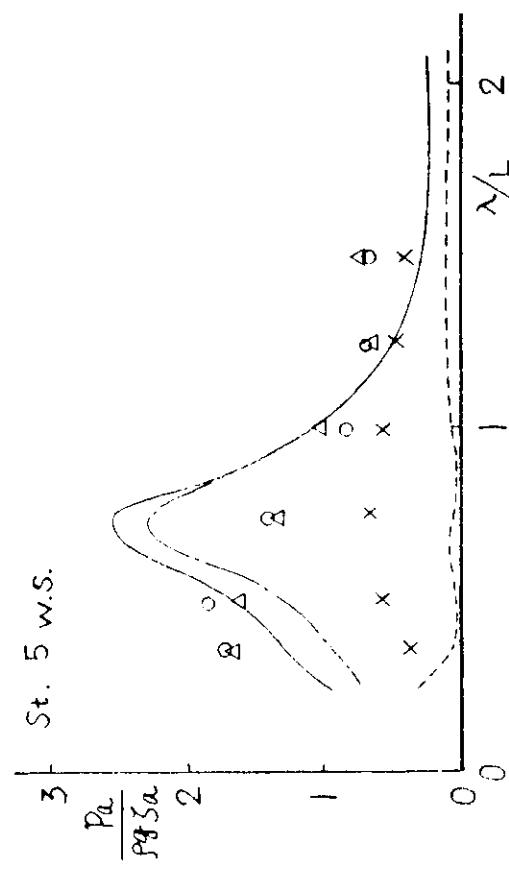
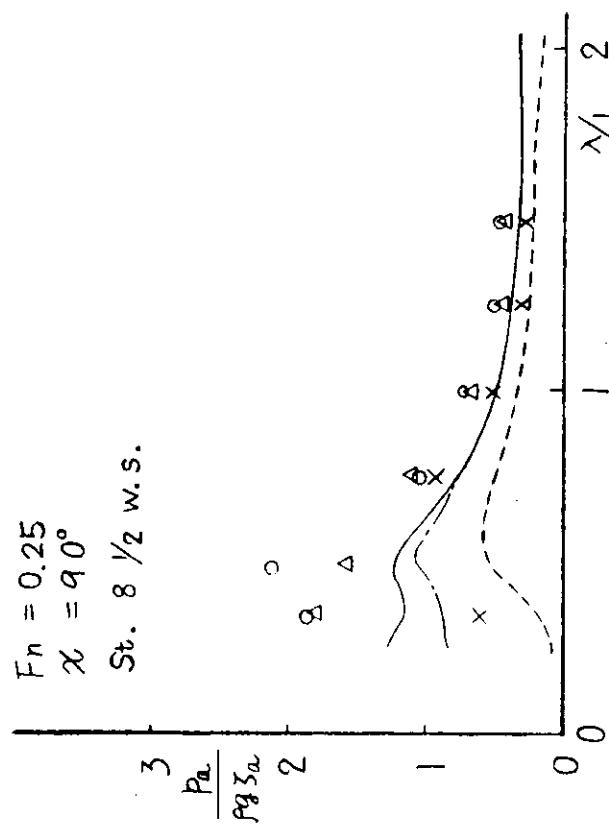
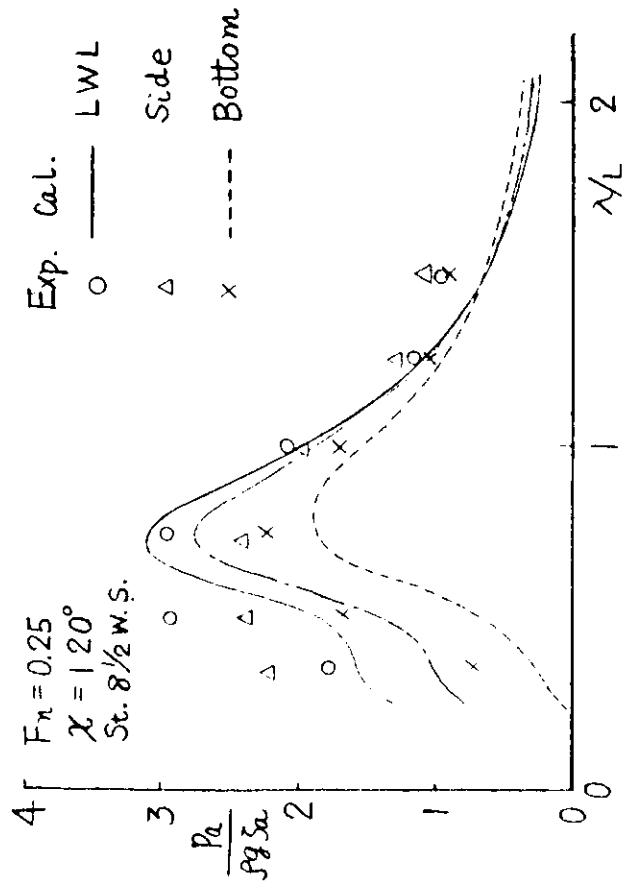
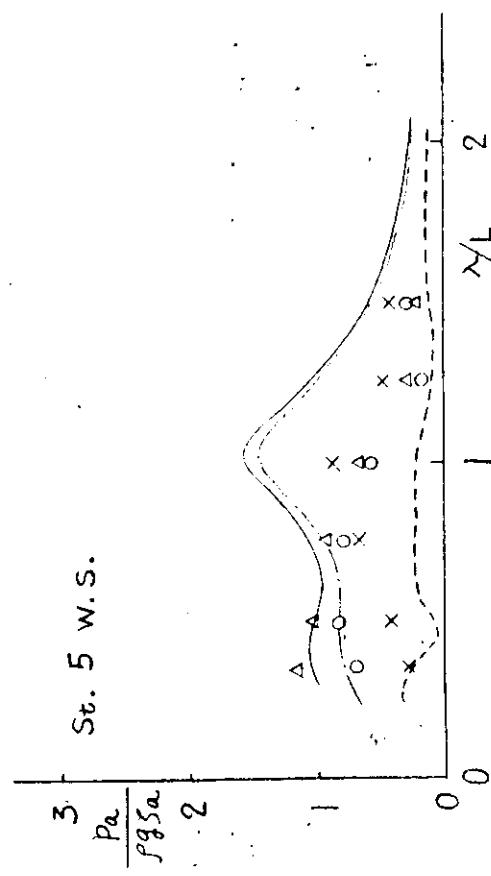
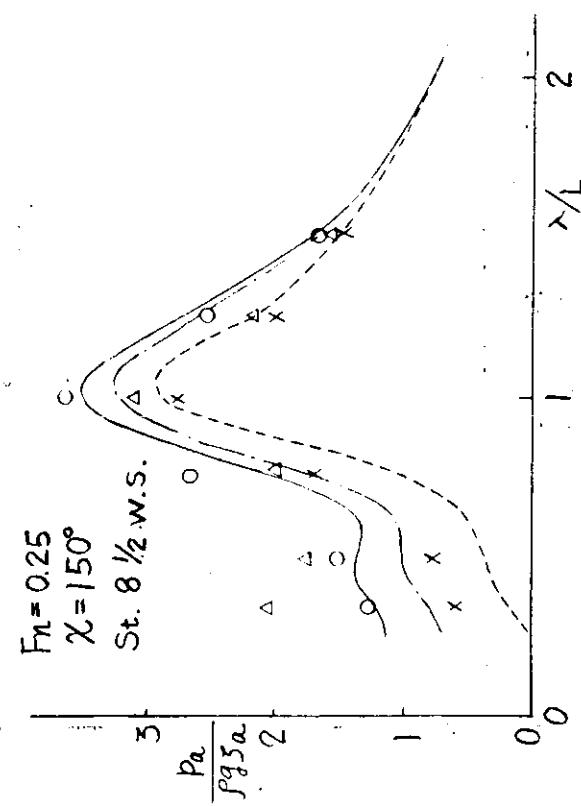
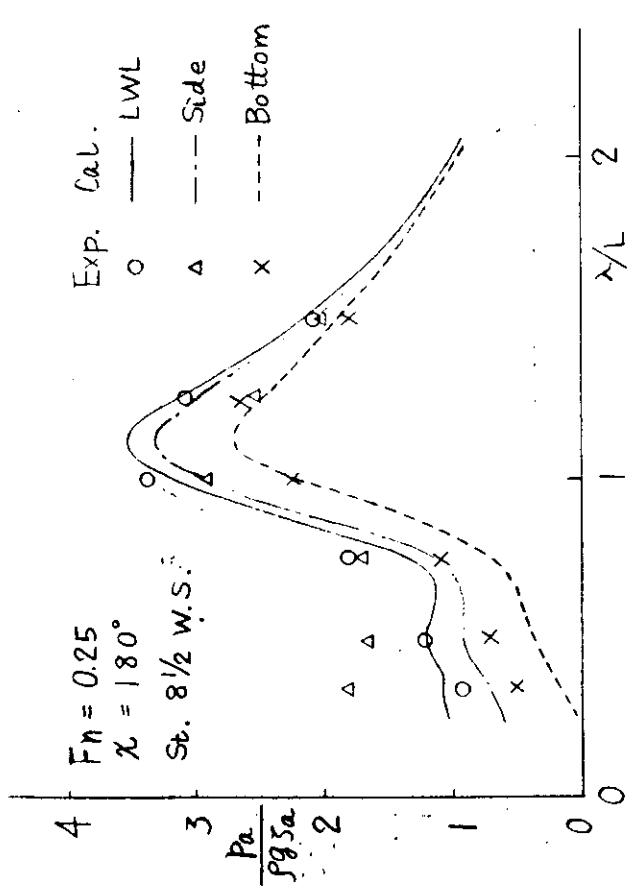


Fig. 3.1.4 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 120^\circ$

Fig. 3.1.5 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 90^\circ$



St. 5 W.S.

St. 5 W.S.

Fig. 3.1.6 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 60^\circ$

Fig. 3.1.7 変動水圧の実験値と計算値,  $\chi = 30^\circ$

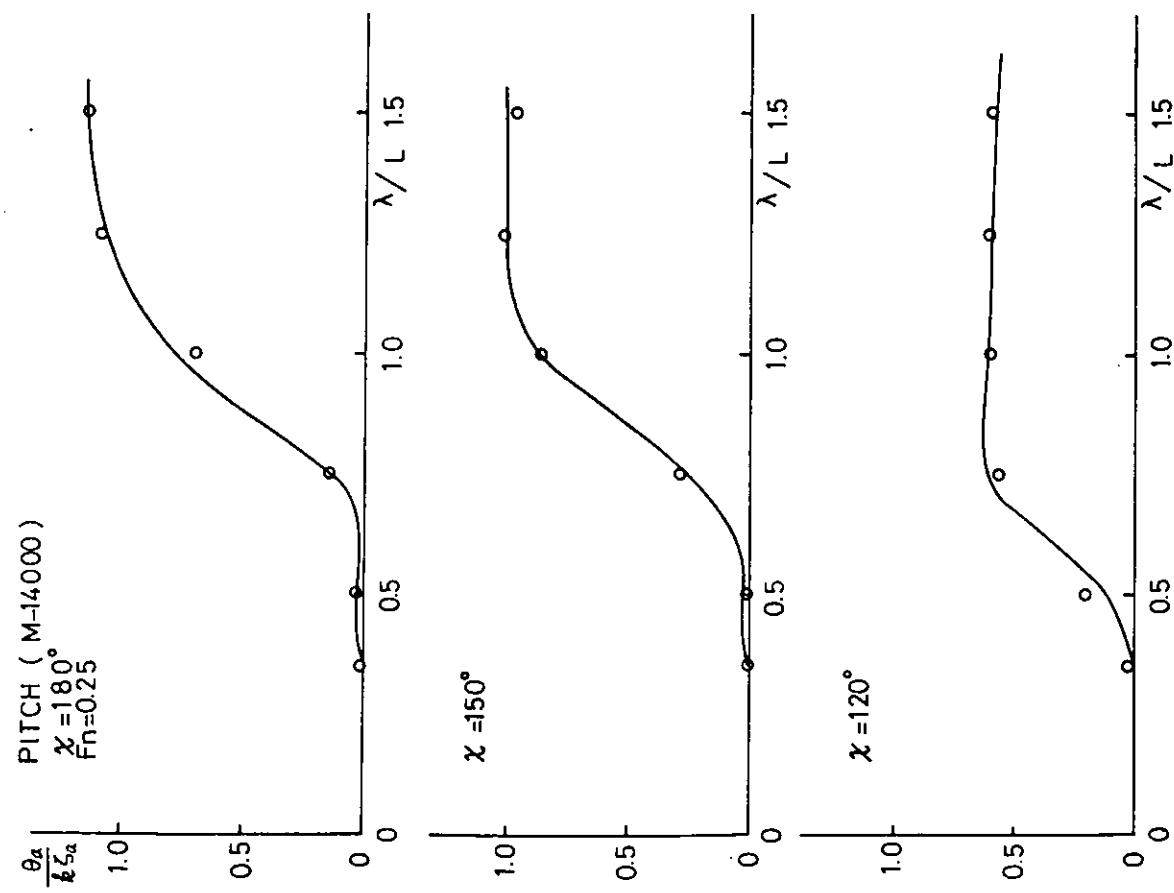


Fig. 3.1.8(a) 縦揺れ振幅の実験値と計算値

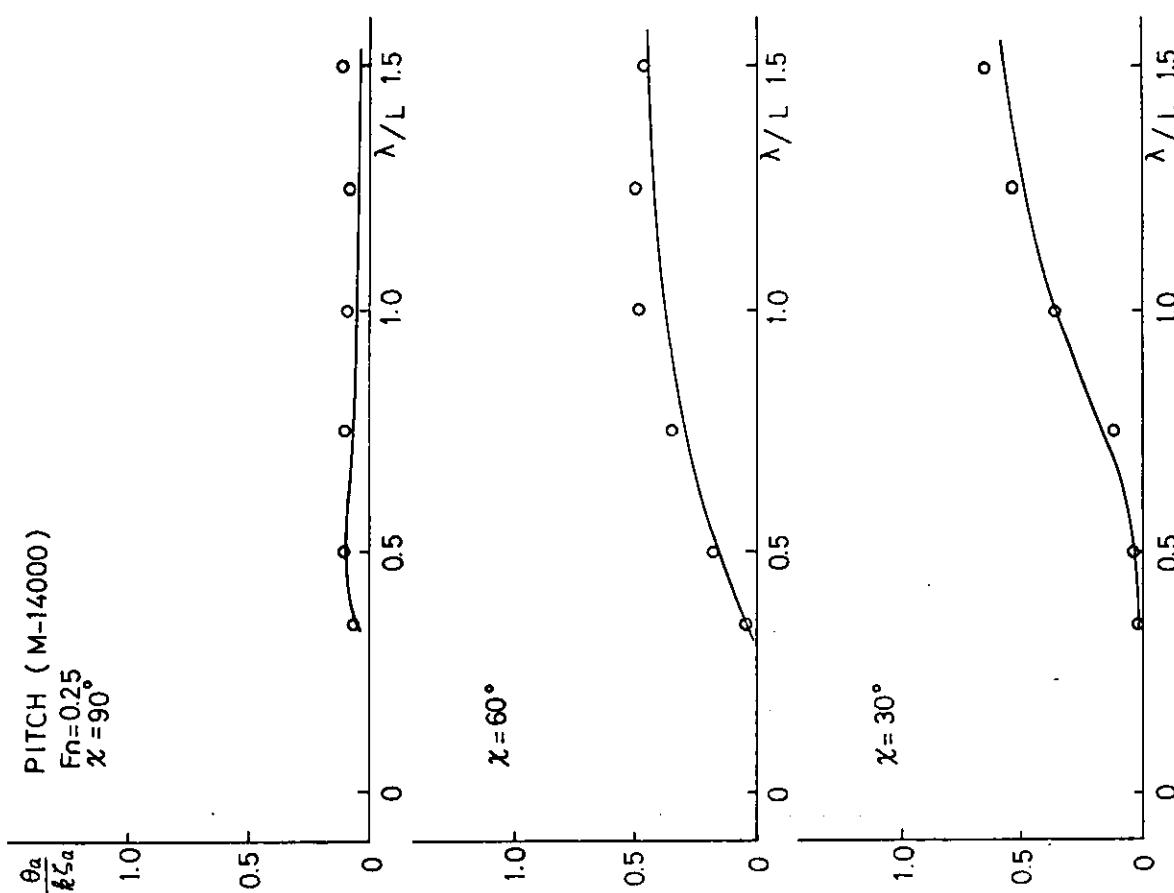


Fig. 3.1.8(b) 縦揺れ振幅の実験値と計算値

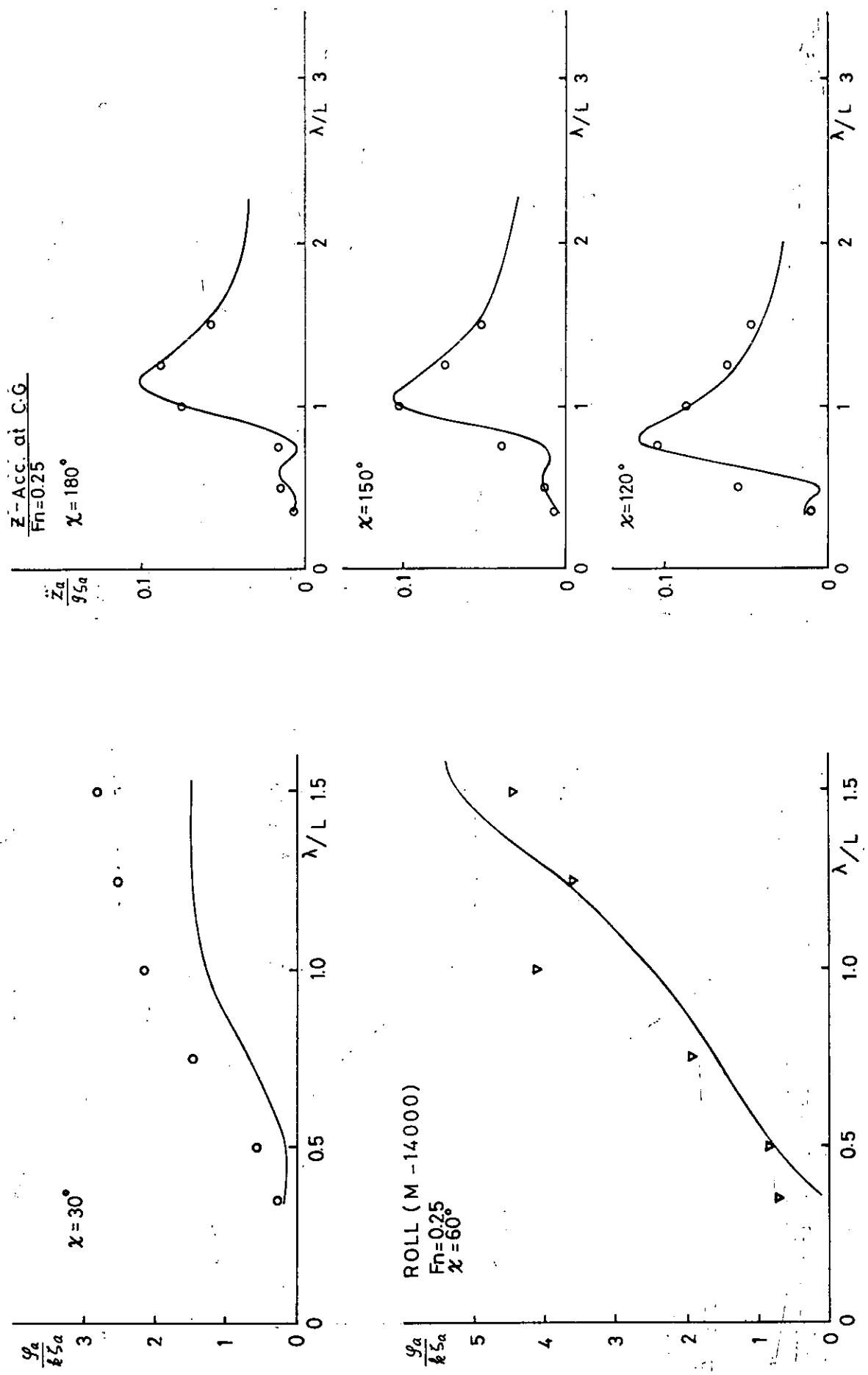


Fig. 3.1.9 横揺れ振幅の実験値と計算値

Fig. 3.1.10(a) 重心の上下加速度

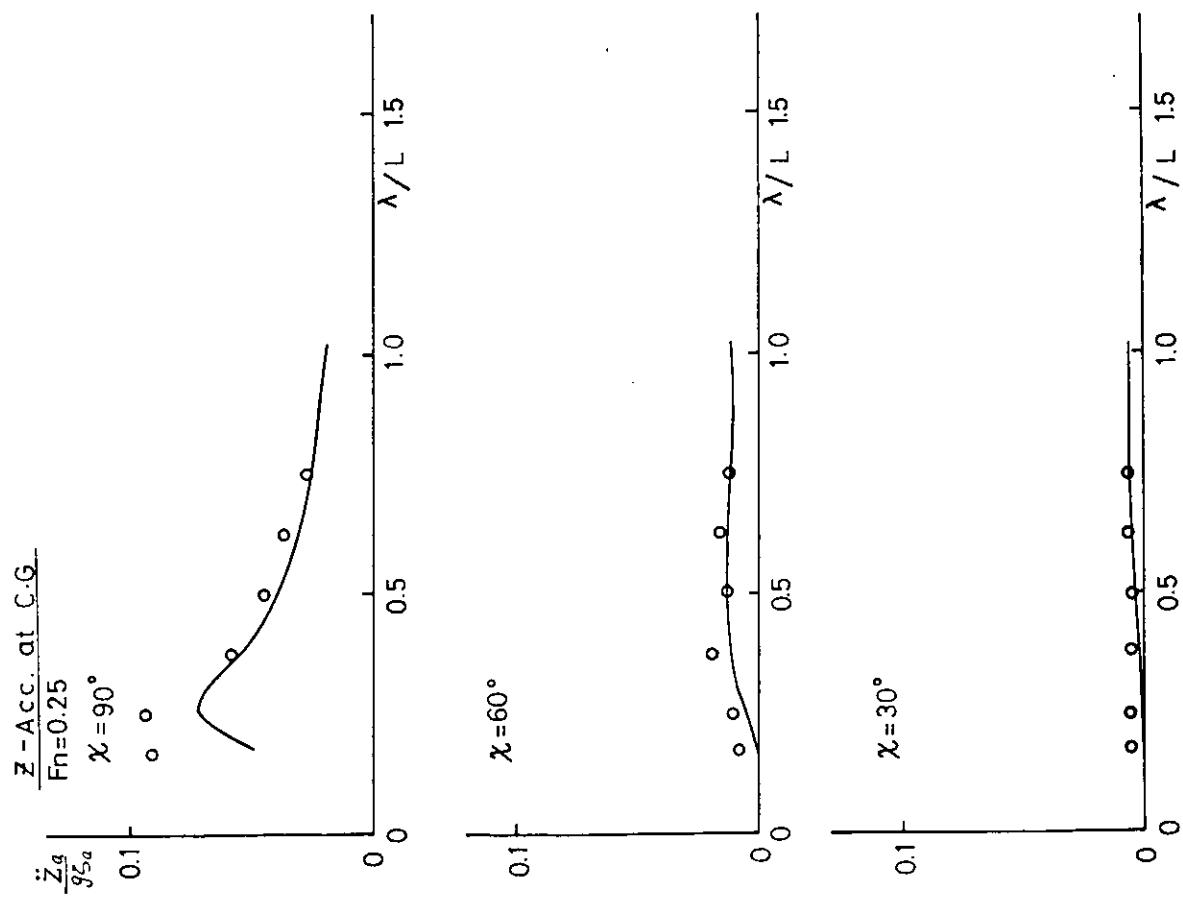


Fig. 3.1.10(b) 重心の上下加速度

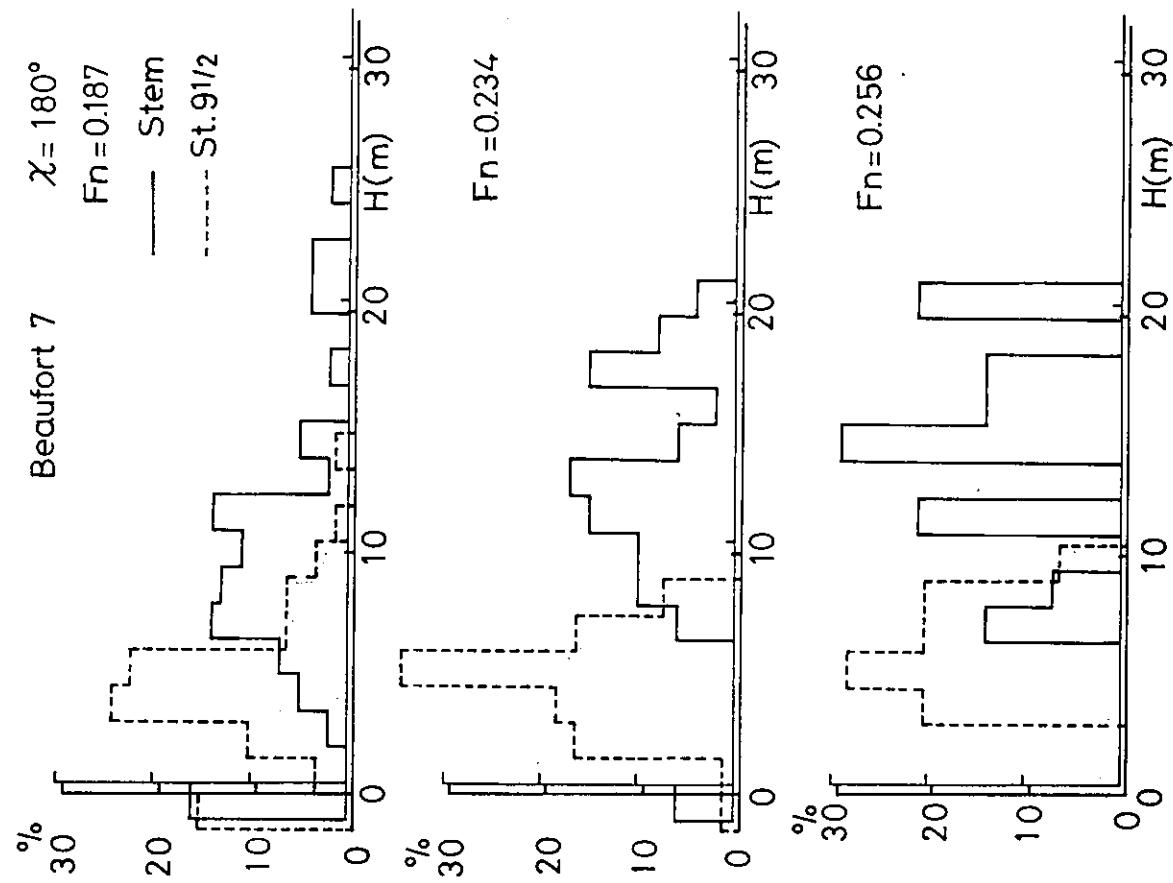


Fig. 3.1.11 不規則波中の船首衝撃水圧の頻度分布

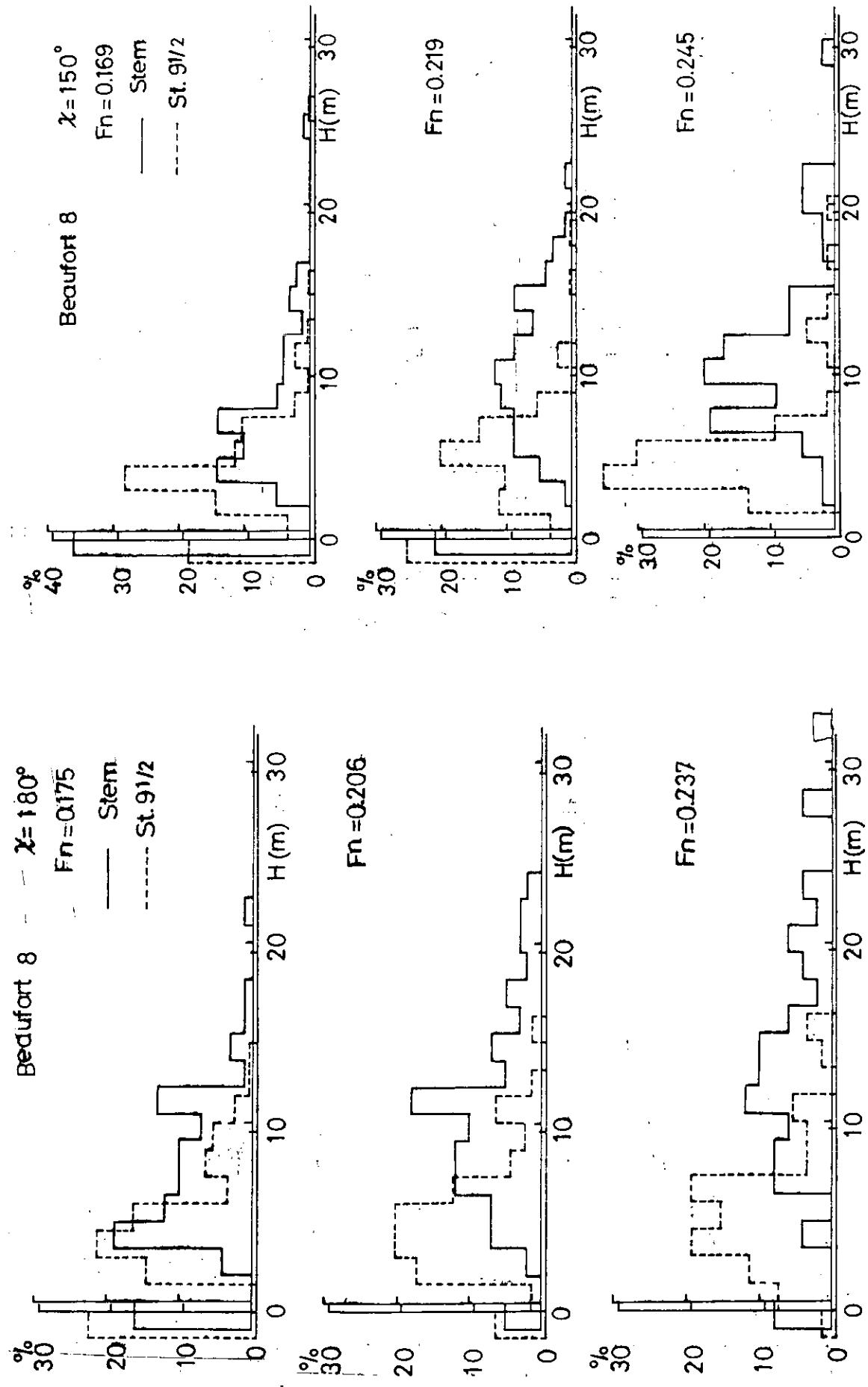


Fig. 3.1.12 不規則波中の船首衝撃水圧の頻度分布

Fig. 3.1.13 不規則波中の船首衝撃水圧の頻度分布

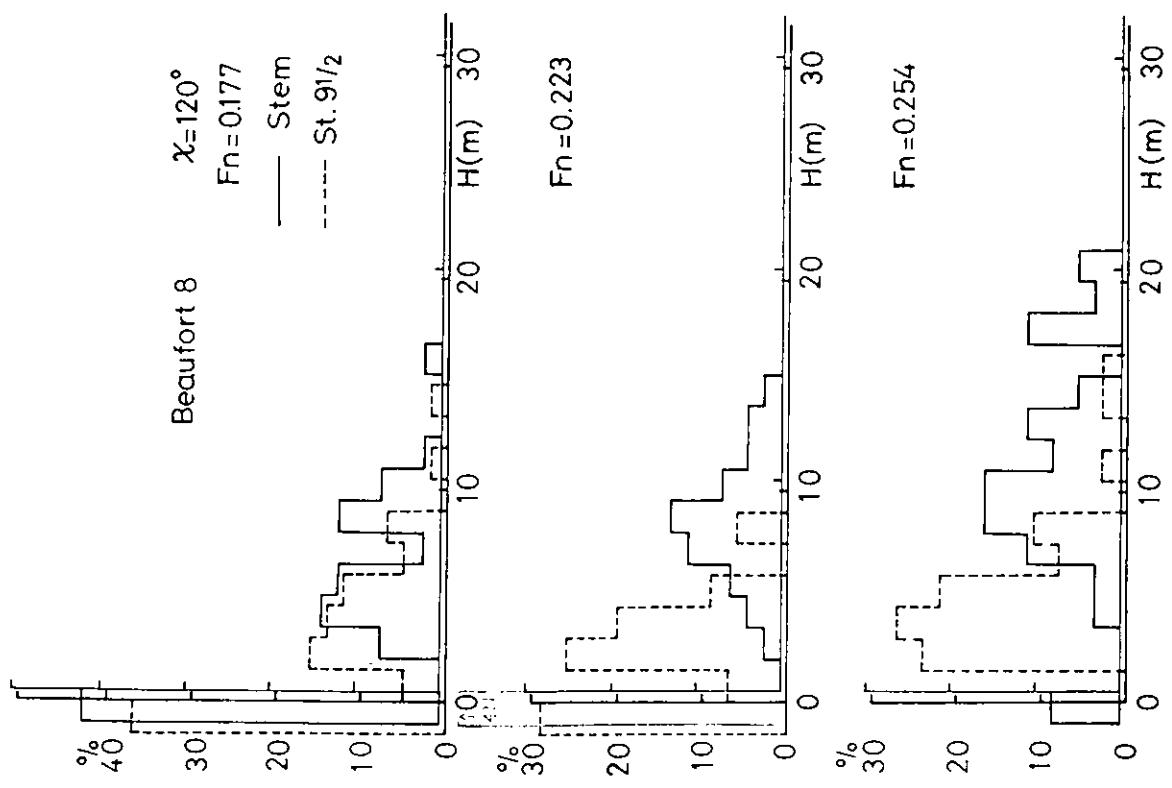


Fig. 3.1.14 不規則波中の船首衝撃水圧の頻度分布

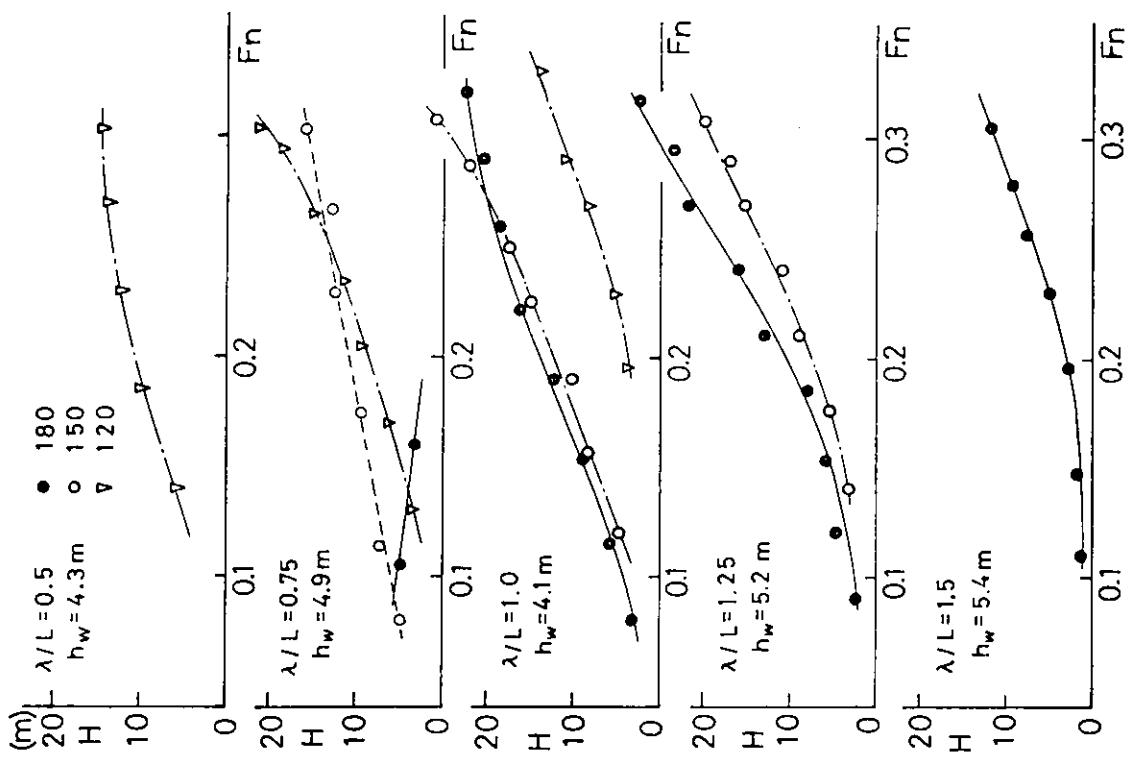


Fig. 3.1.15 規則波中の船首衝撃水圧 (Stem)

$$\hat{B}_{44} = \frac{B_{44}}{\rho \nabla B^2} \sqrt{\frac{B}{2g}} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.2)$$

が、非線形の減衰係数の場合、或る横揺れ振幅  $\varphi_A$  に対する相当線形減衰係数を次式のように定義する。

$$\hat{B}_{44} = \hat{B}_1 + \frac{8}{3\pi} \hat{\omega} \varphi_A \hat{B}_2 + \frac{3}{4} \hat{\omega}^2 \varphi_A^2 \hat{B}_3 \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.3)$$

$$\hat{\omega} = \sqrt{\frac{B\omega^2}{2g}}$$

一方、自由横揺れの運動方程式は次式のように書かれ、

$$\ddot{\varphi} + 2\alpha\dot{\varphi} + \omega_\varphi^2 \varphi = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.4)$$

線形減衰係数  $2\alpha$  は、(3.2.1)式の  $B_{44}$  と次式の関係がある。

$$2\alpha = \frac{B_{44}}{J_{44} + A_{44}} = \frac{B_{44}}{\rho \nabla \kappa^2} = \frac{B_{44}}{\rho \nabla B^2} \sqrt{\frac{B}{2g}} \cdot \frac{B^2}{\kappa^2} \sqrt{\frac{2g}{B}}$$

$$= \hat{B}_{44} \frac{B^2}{\kappa^2} \sqrt{\frac{2g}{B}} = \hat{B}_{44} \cdot \frac{B^2}{g \bar{GM}} \sqrt{\frac{2g}{B}} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.5)$$

$\omega_\varphi^2$

減衰率  $\kappa$  は  $2\alpha$  と次式の関係があるが

$$\kappa = \frac{2\alpha}{\omega_\varphi} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.6)$$

非線形の減衰係数  $\beta$  を用いて、(3.2.4)式の第2項を

$$2\alpha\dot{\varphi} + \beta|\dot{\varphi}|\dot{\varphi}$$

と表すときは、或る横揺れ振幅  $\varphi_A$  に対する相当線形減衰率  $\kappa_e$  は次式のように表わすことができる。

$$\kappa_e = \kappa_0 + \frac{8}{3\pi} \beta \varphi_A \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.7)$$

強制動搖試験の結果得られた  $\hat{B}_{44}$  の値を用いて、自由横揺れ試験で得る  $\kappa_e$  に相当する値が求められる。すなわち、 $\varphi_A = 5^\circ, 10^\circ$  及び  $15^\circ$  に対する  $\hat{B}_{44}$  の実験値から、 $\omega = \omega_\varphi$  のところを読みとり (3.2.5)式 (3.2.6)式の関係を用いて  $\kappa_e 5^\circ, \kappa_e 10^\circ, \kappa_e 15^\circ$  が求まる。 $\varphi_A = 0^\circ$  における  $\kappa_e$  の値、即ち (3.2.7)式の  $\kappa_0$  は、 $\hat{\omega}, \varphi_A$  に無関係な値  $\hat{B}_1$  と結びつけられる。

$\kappa_e$  のうち非線形項を  $\Delta \kappa_e (\varphi_A)$  と書くと

$$\Delta \kappa_e (\varphi_A) = \kappa_e \varphi_A - \kappa_0 = \frac{8}{3\pi} \beta \varphi_A \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.8)$$

であるから  $\beta$  は

$$\beta = \frac{3\pi}{8} \frac{\Delta \kappa_e (\varphi_A)}{\varphi_A} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2.9)$$

となる。

強制動搖試験のデータ

$$TR = 2.33 \text{ sec}, \omega_\varphi = 2.70 \text{ rad/sec}, B = 0.4354$$

$$\bar{GM} = 0.0171 \text{ m}, \hat{\omega}_\varphi = \sqrt{\frac{B\omega_\varphi^2}{2g}} = 0.4024, \dots \dots \text{同調時}$$

$$\kappa^2 = \frac{g \bar{GM}}{\omega_\varphi^2} = 0.121 B^2, \kappa = 0.348 B$$

3 m 模型

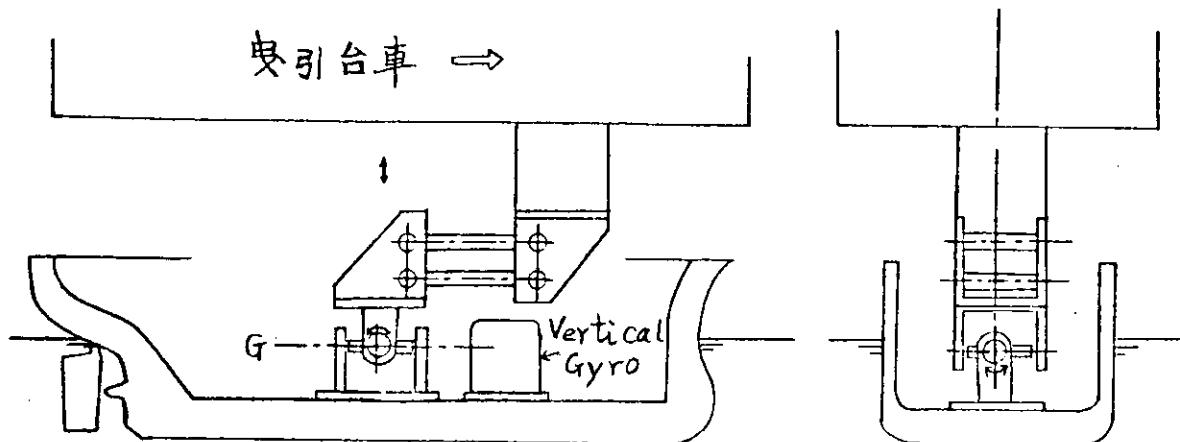


Fig. 3.2.1 自由横揺試験装置

Table 3.2.1 模型船の実験状態

	コンテナ船 S-7		
	実 船	模 型 船	模 型 船
垂 線 間 長 L <sub>pp</sub> (m)	175.000	4.500	3.000
型 幅 B <sub>o</sub> (m)	25.000	0.653	0.435
吃 水 前 部 d <sub>f</sub> (m)	9.500	0.244	0.163
後 部 d <sub>a</sub> (m)	9.500	0.244	0.163
平 均 d <sub>m</sub> (m)	9.500	0.244	0.163
排 水 容 濱 $\nabla$ (m³)		0.410	0.122
重 心 高 さ KG (m)	10.06 9.56 9.06 メタセンター高さ GM (m) 0.50 1.00 1.50	0.259 0.246 0.233 0.013 0.026 0.039	0.173 0.164 0.155 0.009 0.017 0.026
横 揺 周 期 TR (sec)	2.546 1.80 1.470	4.082 2.886 2.357	3.32 2.36 1.93

を用いて九大応力研の強制動揺法による値を換算すると、Table 3.2.2 のようになる。ここで得られた  $K_e$ 、 $K_o$  及び  $\beta$  を自由横揺れ試験結果と比較すると Fig. 3.2.4～5 のようになる。これによると次のようなことがわかる。

Table 3.2.2

F <sub>n</sub>	K <sub>o</sub>	K <sub>e 5</sub>	K <sub>e 10</sub>	K <sub>e 15</sub>	△K <sub>e(10°)</sub>	β
0	0.0012	0.0349	0.068	0.0984	0.067	0.454
0.15	0.0586	0.0861	0.115	0.144	0.056	0.380
0.25	0.117	0.1374	0.158	0.176	0.041	0.278
0.275	0.112	0.1394	0.156	0.172	0.034	0.230
	Fig. 3.2.5		Fig. 3.2.4			Fig. 3.2.5

- (a) Fig. 3.2.4 によると、横揺れ振幅 10°に対する相当線形減衰率  $K_{e 10}$  の値は、両者ともほど一致している。
- (b) Fig. 3.2.5 によると、自由横揺れ法による値は線形係数では高目で、非線形係数では低目になっている。

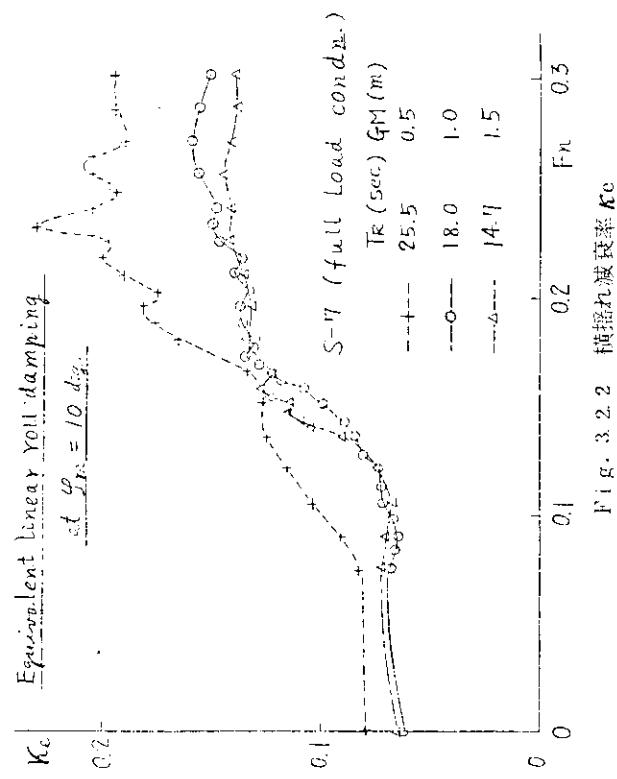


Fig. 3.2.2 横揺れ減衰率  $K_c$

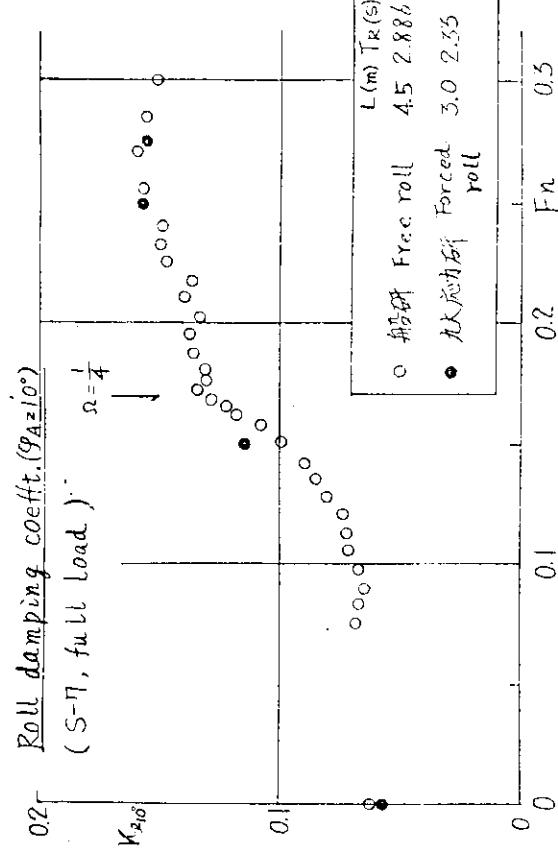


Fig. 3.2.4 相当線形減衰率の比較

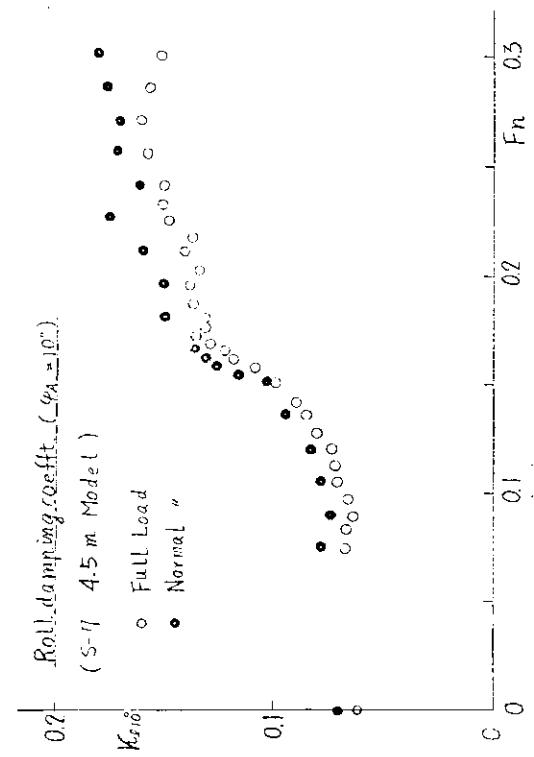


Fig. 3.2.3 横揺減衰率に対する載荷状態の影響

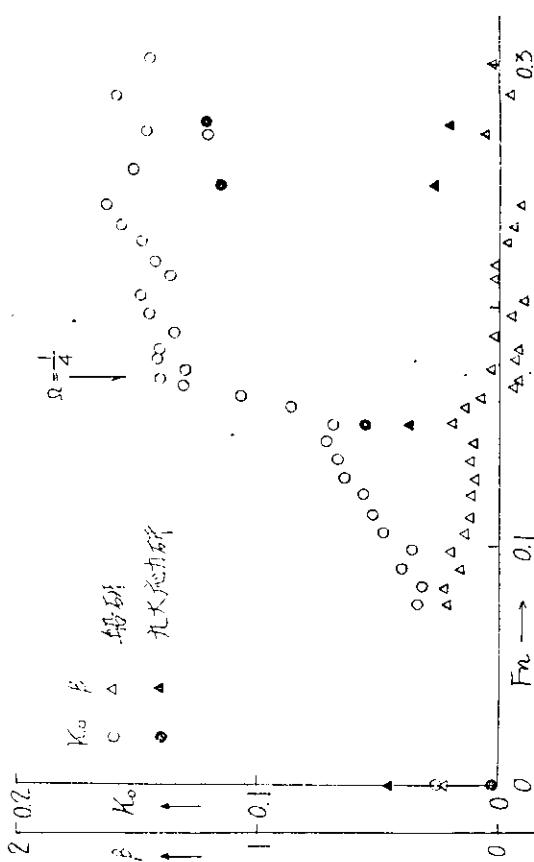


Fig. 3.2.5 線形及び非線形減衰係数の比較

### 3.3 強制動搖法による横運動方程式の流体力係数の計測

#### 3.3.1 供試模型および実験状態

昭和49年度では、コンテナー模型船 ( $M = 14000$ ,  $L = 3\text{m}$ ) を用いて横運動強制動搖試験を行い、横運動方程式の流体力係数を求めた。

横型船の実験状態は Table 3.3.1 に示すとおりである。但し横環動半径  $K_t$  は自由横揺れ固有周期を計画の値にあわせ、その状態の  $K_t$  を後から求めたので計画の  $K_t$  の値とは多少異なっている。

実験の種類は Forced Sway, Forced Yaw, Forced Roll の三種類で、それぞれ前進速度を  $F_n = 0, 0.15, 0.25, 0.275$  の四種類変えて行なった。また Forced Roll のみ振幅を  $\phi_A = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  変化させた。

#### 3.3.2 実験結果の表示

Fig. 3.3.1 の如く座標系をとると、船体運動 Sway, Yaw および Roll の線型連成運動方程式は次のように書くことができる。

$$\left. \begin{aligned} A_{22} \ddot{\eta} + B_{22} \ddot{\psi} + A_{26} \dot{\psi} + B_{26} \dot{\phi} + A_{24} \ddot{\phi} + B_{24} \dot{\phi} &= F \eta e \\ A_{66} \ddot{\psi} + B_{66} \dot{\psi} + A_{64} \ddot{\phi} + B_{64} \dot{\phi} + A_{62} \ddot{\eta} + B_{62} \dot{\eta} &= M \psi e \\ A_{44} \ddot{\phi} + B_{44} \dot{\phi} + C_{44} \dot{\phi} + A_{42} \ddot{\eta} + B_{42} \dot{\eta} + A_{46} \ddot{\psi} + B_{46} \dot{\psi} &= M \phi e \end{aligned} \right\} \quad (3.3.1)$$

この運動方程式の諸係数  $A_{ij}, B_{ij}$  を無次元化し、無次元周波数 ( $\hat{\omega} = \omega \sqrt{B/2g}$ ) を横軸にフルード数  $F_n$  をパラメータとしてプロットし、New Strip Method による計算値と比較したものが Fig. 3.3.2 ~ Fig. 3.3.31 である。

これらの無次元化方法は次の通りである。

$$\begin{aligned} (a) \quad \text{Sway} \quad \hat{A}_{22} &= \frac{A_{22}}{\rho V}, \quad \hat{A}_{42} = \frac{A_{42}}{\rho VB}, \quad \hat{A}_{62} = \frac{A_{62}}{\rho VL}, \quad B_{22} = \frac{B_{22}}{\rho V} \sqrt{B/2g}, \quad \hat{B}_{42} = \frac{A_{42}}{\rho VB} \sqrt{B/2g}, \quad \hat{B}_{62} = \frac{A_{62}}{\rho VL} \sqrt{B/2g} \\ (b) \quad \text{Yaw} \quad \hat{A}_{66} &= \frac{A_{66}}{\rho VL^2}, \quad \hat{A}_{26} = \frac{A_{26}}{\rho VL}, \quad \hat{A}_{46} = \frac{A_{46}}{\rho VB}, \quad \hat{B}_{66} = \frac{B_{66}}{\rho VL^2} \sqrt{B/2g}, \quad \hat{B}_{26} = \frac{B_{26}}{\rho VL} \sqrt{B/2g}, \quad \hat{B}_{46} = \frac{B_{46}}{\rho VB} \sqrt{B/2g} \\ (c) \quad \text{Roll} \quad \hat{A}_{44} &= \frac{A_{44}}{\rho VB^2}, \quad \hat{A}_{64} = \frac{A_{64}}{\rho VLB}, \quad \hat{A}_{24} = \frac{A_{24}}{\rho VB}, \quad \hat{B}_{44} = \frac{B_{44}}{\rho VB^2} \sqrt{B/2g}, \quad \hat{B}_{64} = \frac{B_{64}}{\rho VLB} \sqrt{B/2g}, \\ &\quad \hat{B}_{24} = \frac{B_{24}}{\rho VB} \sqrt{B/2g} \end{aligned}$$

#### 3.3.3 実験値と計算値の比較

##### (i) Sway の主要項

$\hat{A}_{22}$  の実験値は計算値とよく合っている (Fig. 3.3.2)。

$\hat{B}_{22}$  の実験値は前進速度の影響が現われている、 $F_n = 0$  の実験値は計算値とよく合っている (Fig. 3.3.3)。

##### (ii) Yaw の主要項

$\hat{A}_{66}$  の実験値は高周波側 ( $\hat{\omega} = 1.0$  以上) で計算値より高くなっている (Fig. 3.3.8)。

$\hat{B}_{66}$  の実験値は  $F_n = 0$  で計算値とよく一致しているが、前進速度がある場合、計算値の傾向と合わなくなる (Fig. 3.3.9)。

##### (iii) Roll の主要項

$\hat{A}_{44}$  の実験値は非常によく計算値と一致している (Fig. 3.3.14)。

$\hat{B}_{44}$  の実験値ははっきりと前進速度の影響が現われ、その傾向は振幅に関係がない。また粘性の影響で計算値とは大きく異なっている (Fig. 3.3.15)。

##### (iv) 連成項

New Strip Method では前進速度  $V = 0$  の時

$$\hat{A}_{26} = \hat{A}_{62}, \quad \hat{B}_{26} = \hat{B}_{62}, \quad \hat{A}_{46} = \hat{A}_{64}, \quad \hat{B}_{46} = \hat{B}_{64}$$

また、前進速度の有無にかかわらず

$$\hat{A}_{24} = \hat{A}_{42}, \quad \hat{B}_{24} = \hat{B}_{42}$$

の関係がある。

$\hat{A}_{26} = \hat{A}_{62}$  の関係は  $V = 0$  では満足されている。前進速度がある場合、 $\hat{A}_{26}$  の実験値は計算値の傾向によく似ている (Fig. 3.3.10)。しかし  $\hat{A}_{62}$  の実験値は計算値と全然合っていない (Fig. 3.3.6)。

$\hat{B}_{26} = \hat{B}_{62}$  の関係は低周波数領域では満足されているが、高周波数側では  $\hat{B}_{26}$  が幾分小さくなっている。前進速度がある場合、 $\hat{B}_{26}$  の実験値は計算値とよく合っている (Fig. 3.3.11) が、 $\hat{B}_{62}$  の場合、傾向が全然異なっている (Fig. 3.3.7)。

$\hat{A}_{46} = \hat{A}_{64}$  の関係は  $\hat{A}_{46}$  の実験値が小さく満足されていない。前進速度のある場合、 $\hat{A}_{46}$  の実験値は速度影響がほとんどあらわれない (Fig. 3.3.12) のに対し、 $\hat{A}_{64}$  の実験値にははっきりとあらわれている (Fig. 3.3.18)。

$\hat{B}_{46} = \hat{B}_{64}$  の関係は  $\hat{B}_{46}$  の実験値が小さく満足されていない。前進速度がある場合、 $\hat{B}_{46}$  の実験値は速度影響が非常に小さい (Fig. 3.3.13)。 $\hat{B}_{64}$  の実験値にははっきりとその影響があらわれている、また振幅の影響はほとんどあらわれない (Fig. 3.3.19)。

$\hat{A}_{24} = \hat{A}_{42}$  の関係は  $V = 0$  の場合満足されている。前進速度がある場合、 $\hat{A}_{24}$  ははっきりと速度影響があらわれ、低周波数領域で計算値とは大きく異なる。 (Fig. 3.3.16)。

$\hat{A}_{42}$  の実験値は速度影響をあまり受けない。 (Fig. 3.3.4)。

$\hat{B}_{24} = \hat{B}_{42}$  の関係は  $V = 0$  の場合満足されている。前進速度のある場合、 $\hat{B}_{24}$  の実験値は多少速度影響が現われているが、傾向は計算値とよく合っている (Fig. 3.3.17)。

$\hat{B}_{42}$  の実験値は低周波数領域で計算値と傾向が異なり、不一致である (Fig. 3.3.5)

### 3.3.4 横揺れ減衰係数の実験式

先の強制動搖試験で求めた  $\hat{B}_{44}$  の実験値を用いて船速および非線型を考慮した等価減衰係数の実験式を求めた。<sup>1)</sup>

減衰力を次のように仮定する。

$$B_{44} \dot{\phi} = B_1 \dot{\phi} + B_2 \dot{\phi} + \dot{\phi}^3 + B_3 \dot{\phi}^3$$

線型化すると

$$\hat{B}_{44} = \hat{B}_1 + \frac{8}{3\pi} \hat{\omega} \phi_A \hat{B}_2 + \frac{3}{4} \hat{\omega}^2 \phi_A^2 \hat{B}_3 \quad \dots \quad (3.3.2)$$

$$\text{但し, } \hat{B}_1 = \frac{B_1}{\rho V B^2} \sqrt{B/2g}$$

$$\hat{B}_2 = \frac{B_2}{\rho V B^2}$$

$$\hat{B}_3 = \frac{B_3}{\rho V B^2 \sqrt{B/2g}}$$

$\phi_A$  : 横揺れ角,  $B$  : 船幅,  $\rho$  : 密度,  $g$  : 重力の加速度,  $\hat{\omega} = \omega \sqrt{B/2g}$  : 無次元円振動数

また二次式近似で求めると

$$\hat{B}_{44} = \hat{B}_1 + \frac{8}{3\pi} \hat{\omega} \phi_A \hat{B}_2 \quad \dots \quad (3.3.3)$$

となる。

先に求めた実験値を用いて最小自乗近似で (3.3.2) および (3.3.3) 式の各係数を求めると Table 3.3.2 および Table 3.3.3 の如くとなり、Fig. 3.3.20 ~ Fig. 3.3.24 に示されている。

Table 3.3.1

	実 船	供試模型船
L <sub>pp</sub> (m)	175.00	3.00
B (m)	25.40	0.4354
D (m)	15.40	0.2640
d (m)	9.50	0.1628
△	24,119.227 (m <sup>3</sup> )	121.608 (kg)
C <sub>b</sub>	0.5717	0.5717
ℓ <sub>CB</sub> (m)	1.417 (%L <sub>pp</sub> )	0.0425
KG (m)	9.52	0.1632
GM (m)	1.00	0.0171
T <sub>φ</sub> (sec)	18.28	2.394 (2.33)
K <sub>ℓ</sub>	0.239 L <sub>pp</sub>	0.239 L <sub>pp</sub>
K <sub>t</sub>	0.382B	0.382B (0.3284B)
プロペラ	あり	なし
舵	あり	あり
ビルジキール	あり	(7.7 × 750 mm)

( ) 内は模型実験状態

Table 3.3.2 三次式近似

	F <sub>n</sub> = 0	F <sub>n</sub> = 0.15	F <sub>n</sub> = 0.25	F <sub>n</sub> = 0.275
̂B <sub>1</sub>	0.00082	0.00374	0.00628	0.00671
̂B <sub>2</sub>	0.03690	0.02531	0.02125	0.01402
̂B <sub>3</sub>	0.08474	0.09835	0.03567	0.05097

Table 3.3.3 二次式近似

	F <sub>n</sub> = 0	F <sub>n</sub> = 0.15	F <sub>n</sub> = 0.25	F <sub>n</sub> = 0.275
̂B <sub>1</sub>	0.00006	0.00286	0.00571	0.00596
̂B <sub>2</sub>	0.05563	0.04702	0.03210	0.02851

## 参考文献

1) 高木幹雄, 田才福造: “横運動方程式の流体力について”, 西部造船会報, 第46号, 昭和48年8月

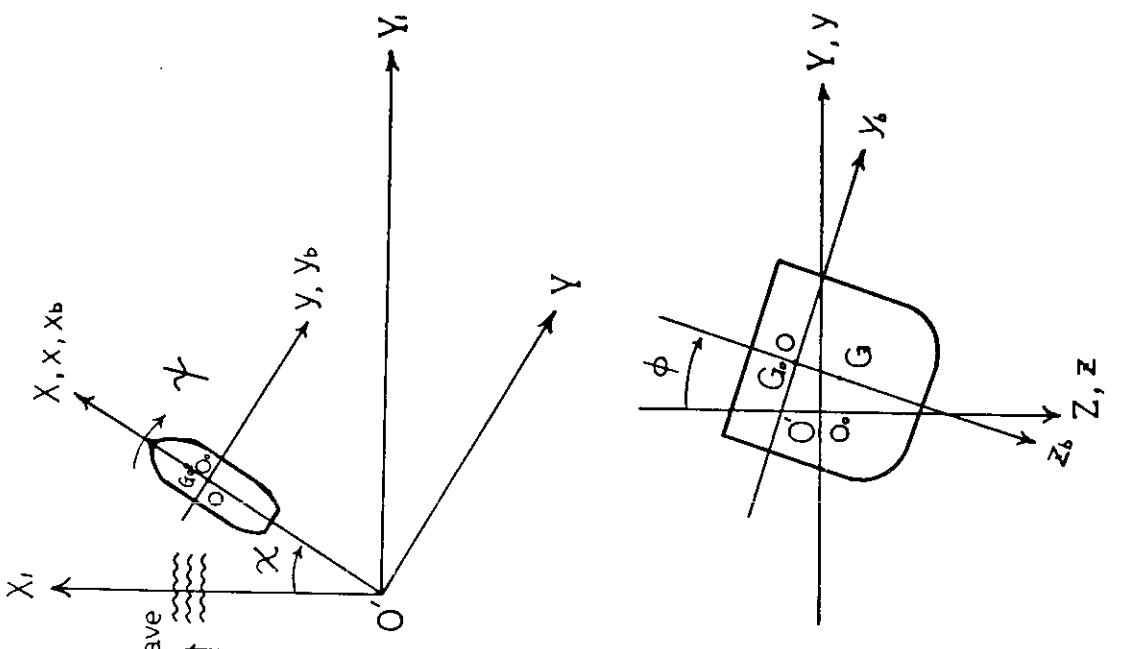


Fig. 3.3.1 System of co-ordinate

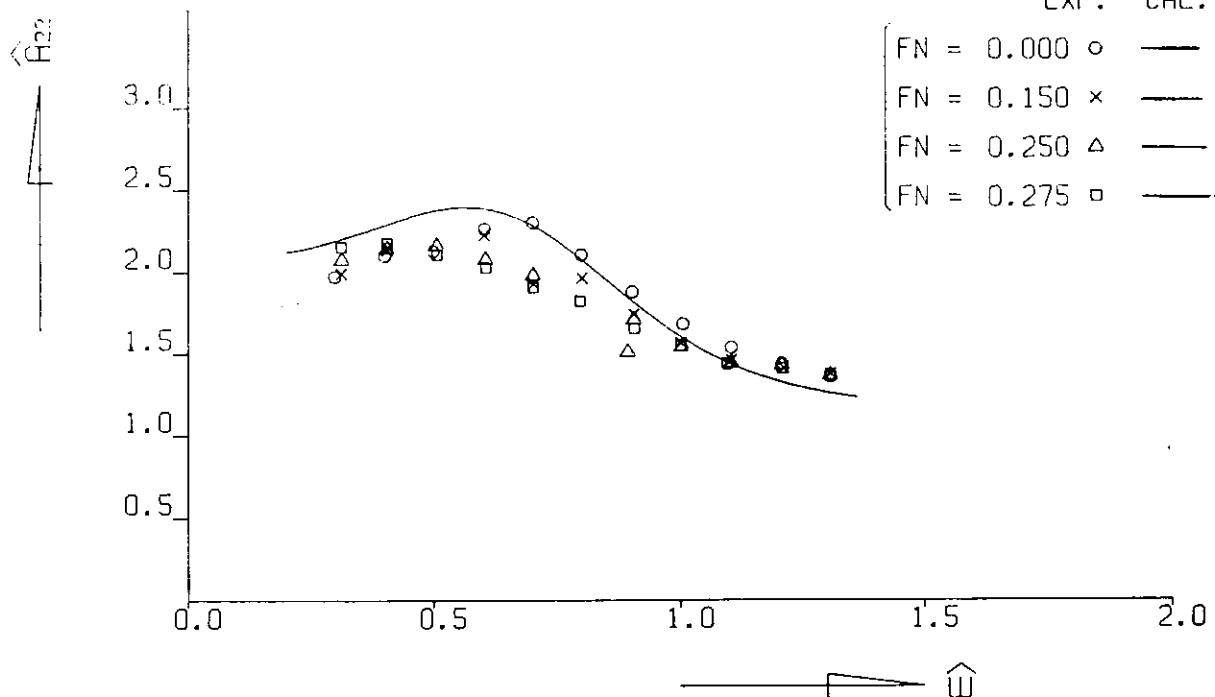


Fig. 3.3.2  $\hat{A}_{zz}$  Virtual mass of sway

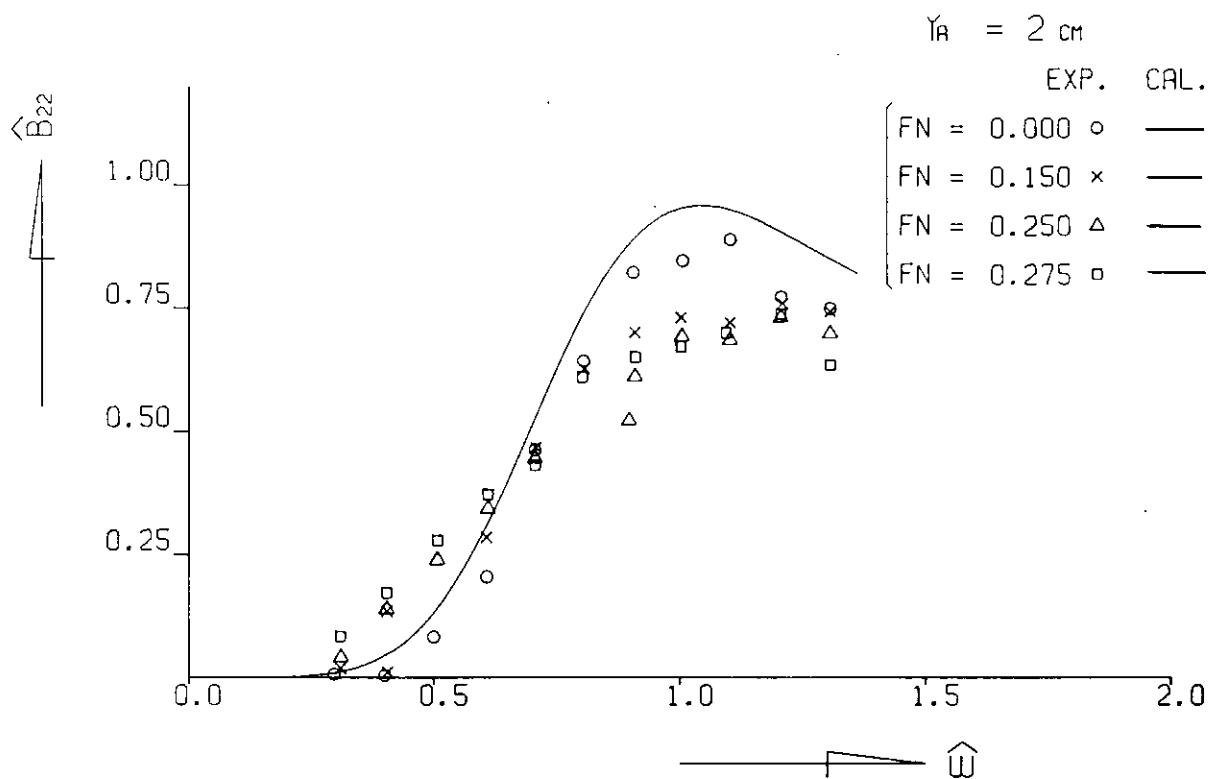


Fig. 3.3.3  $\hat{B}_{22}$  Damping coeff. of sway

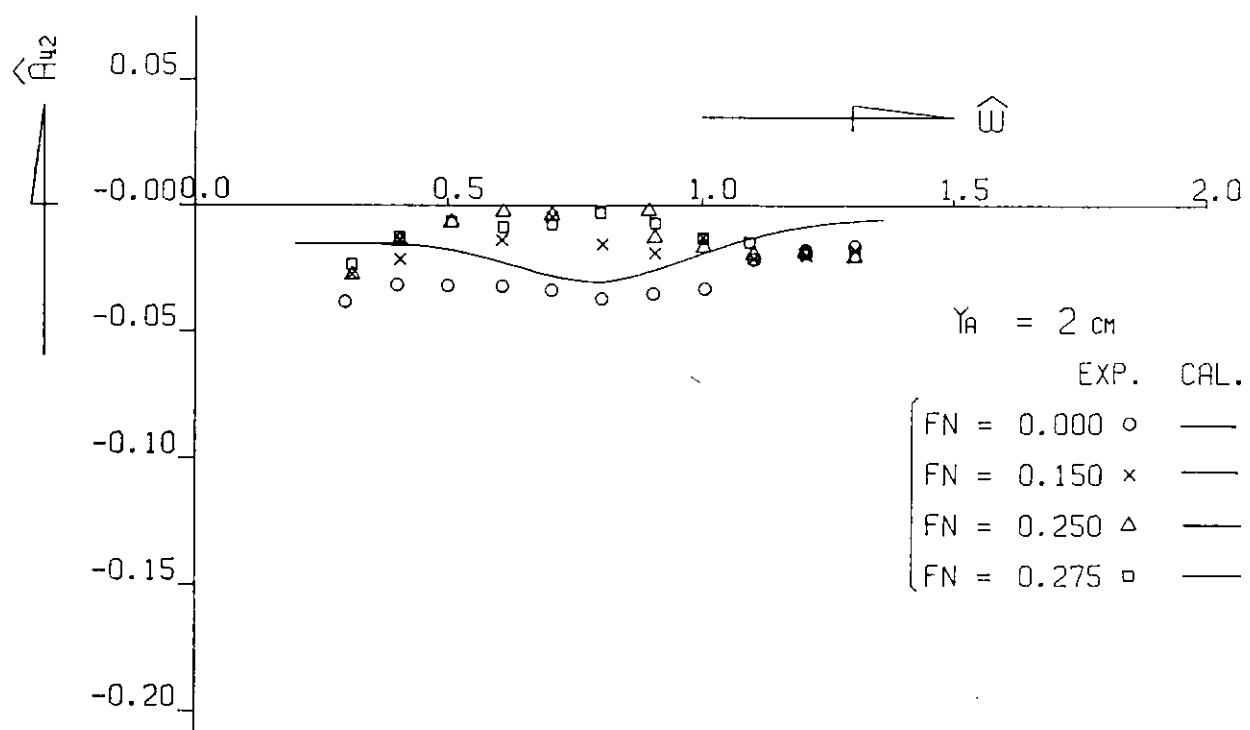


Fig. 3.3.4  $\hat{A}_{42}$  Coupling moment coeff. of sway into roll

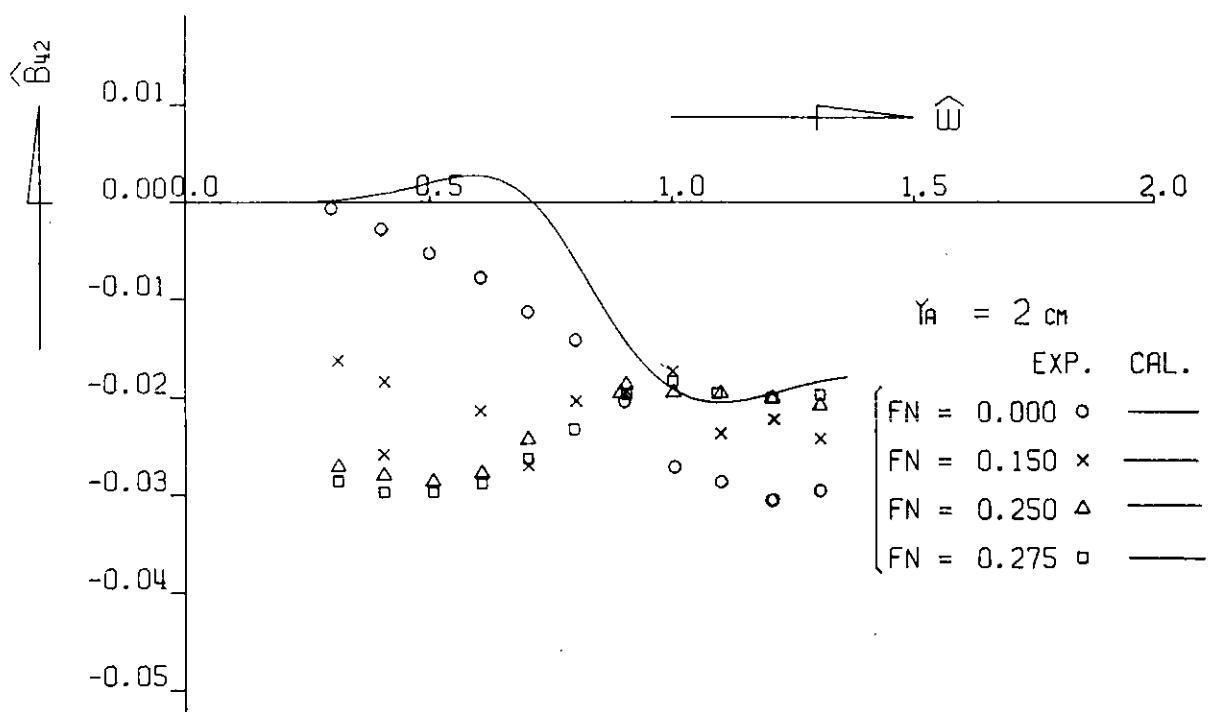


Fig. 3.3.5  $\hat{B}_{42}$  Coupling moment coeff. of sway into roll

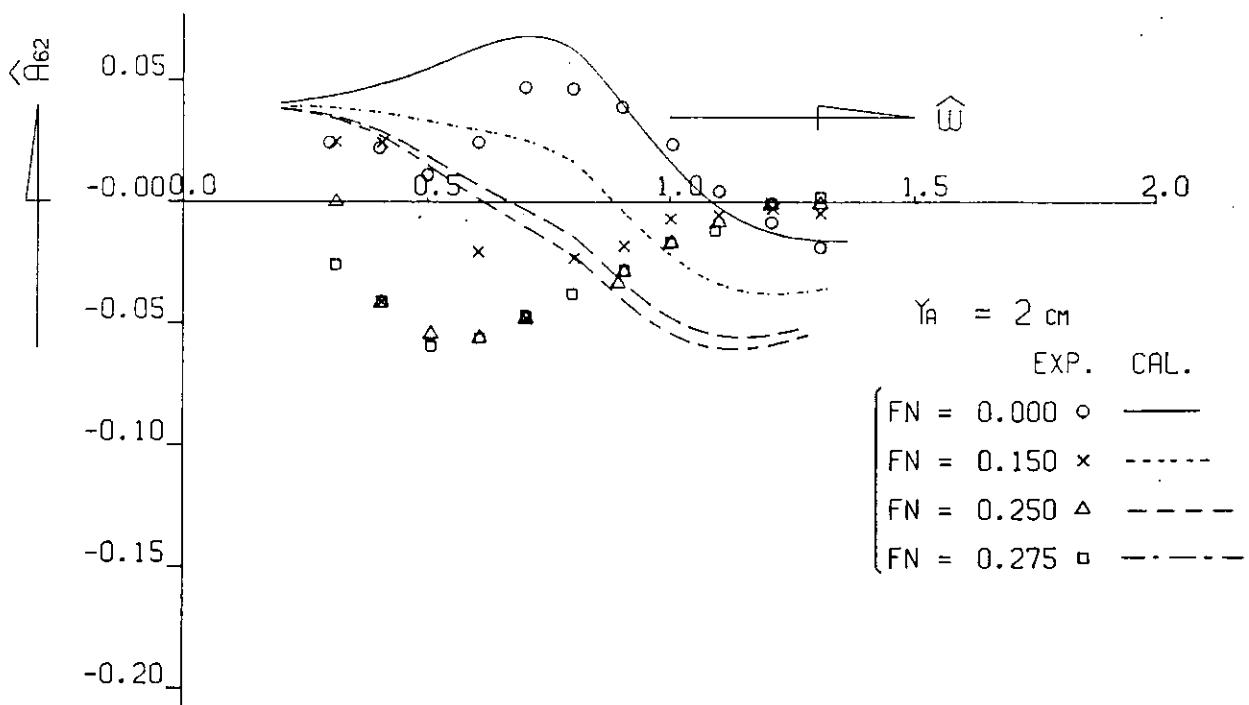


Fig. 3.3.6  $\hat{A}_{62}$  Coupling moment coeff. of sway into yaw

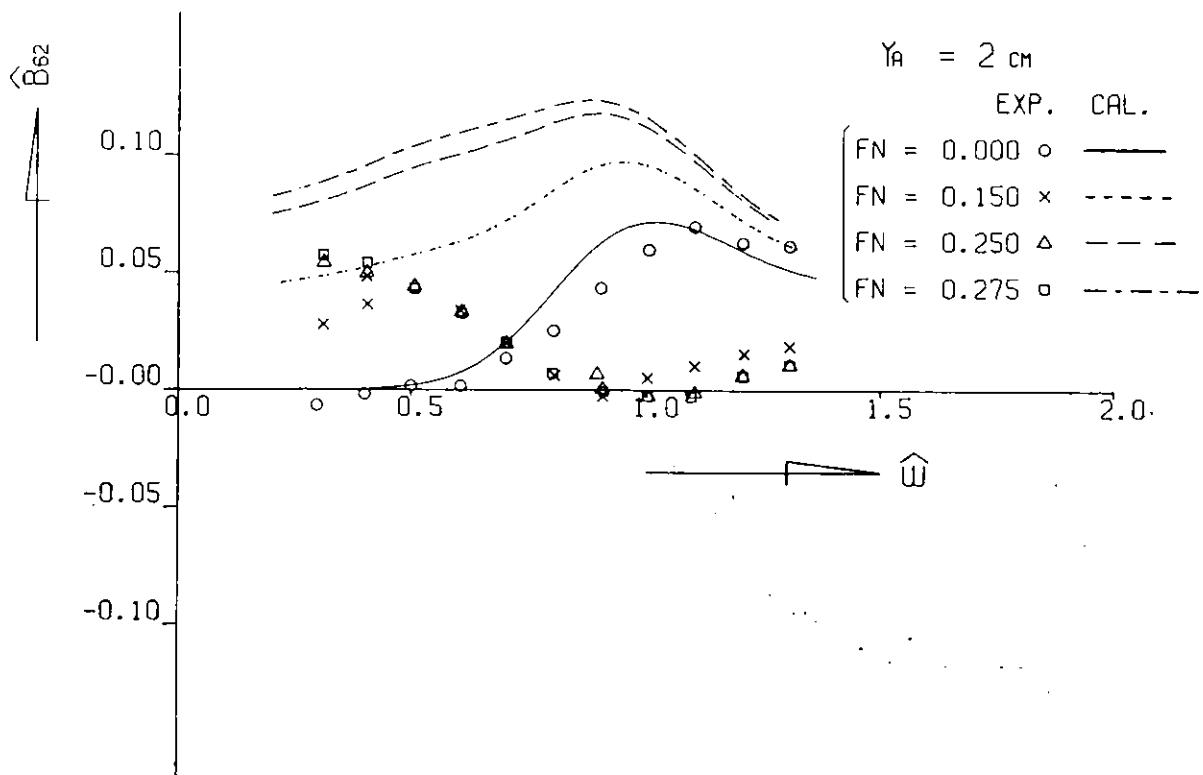


Fig. 3.3.7  $\hat{B}_{62}$  Coupling moment coeff. of sway into yaw

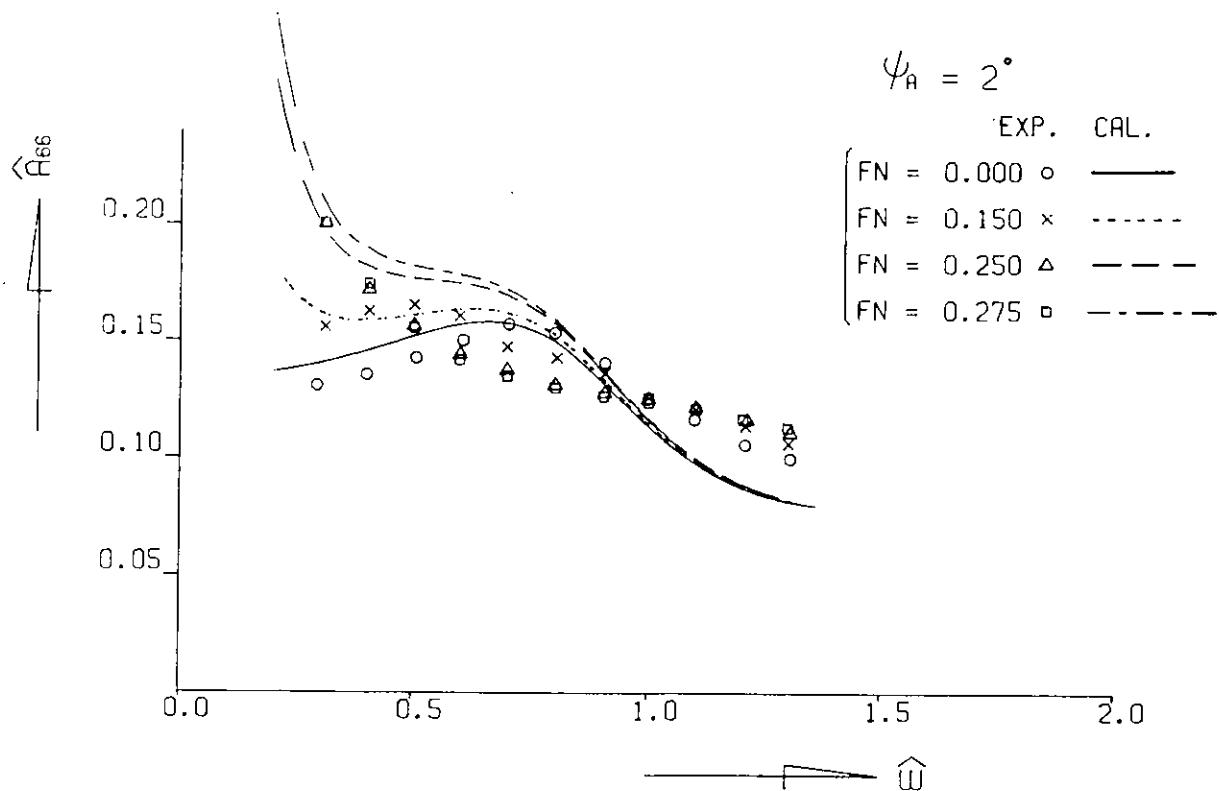


Fig. 3.3.8  $\hat{A}_{66}$  Virtual mass moment of inertia of yaw

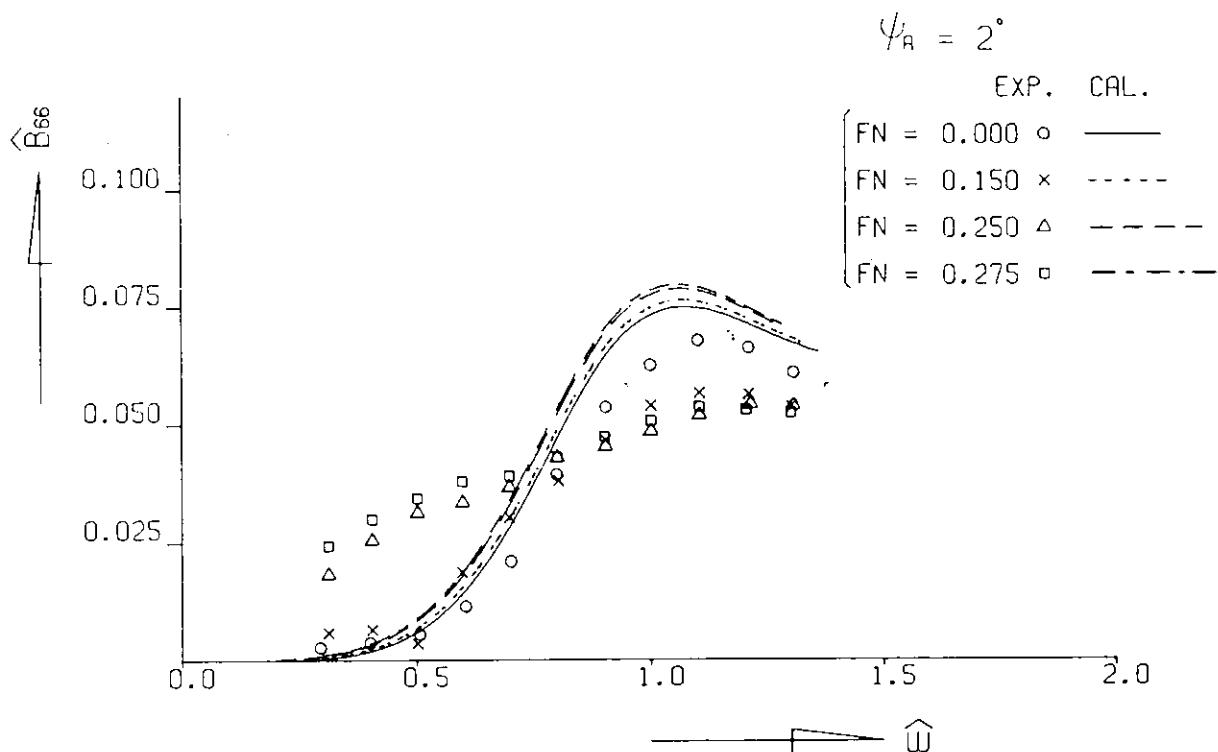


Fig. 3.3.9  $\hat{B}_{66}$  Damping moment coeff. of yaw

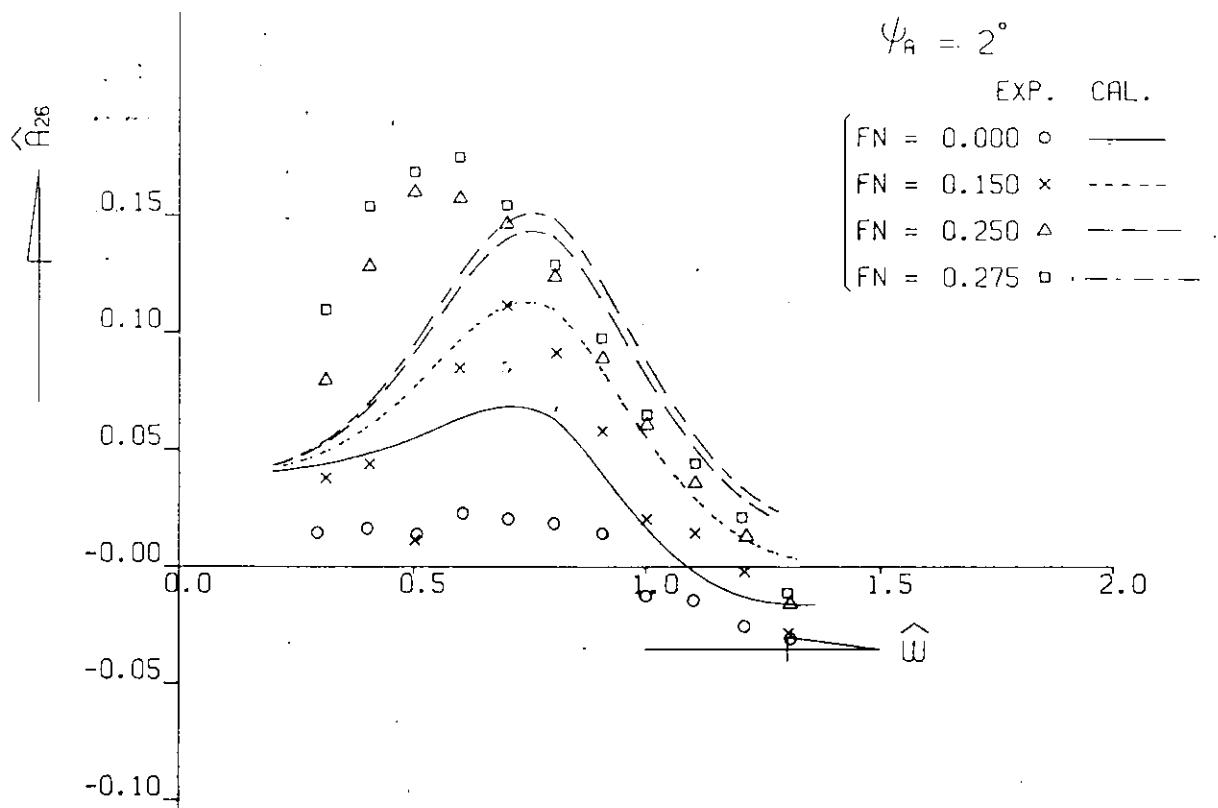


Fig. 3.3.10  $\hat{A}_{26}$  Coupling force coeff. of yaw into sway

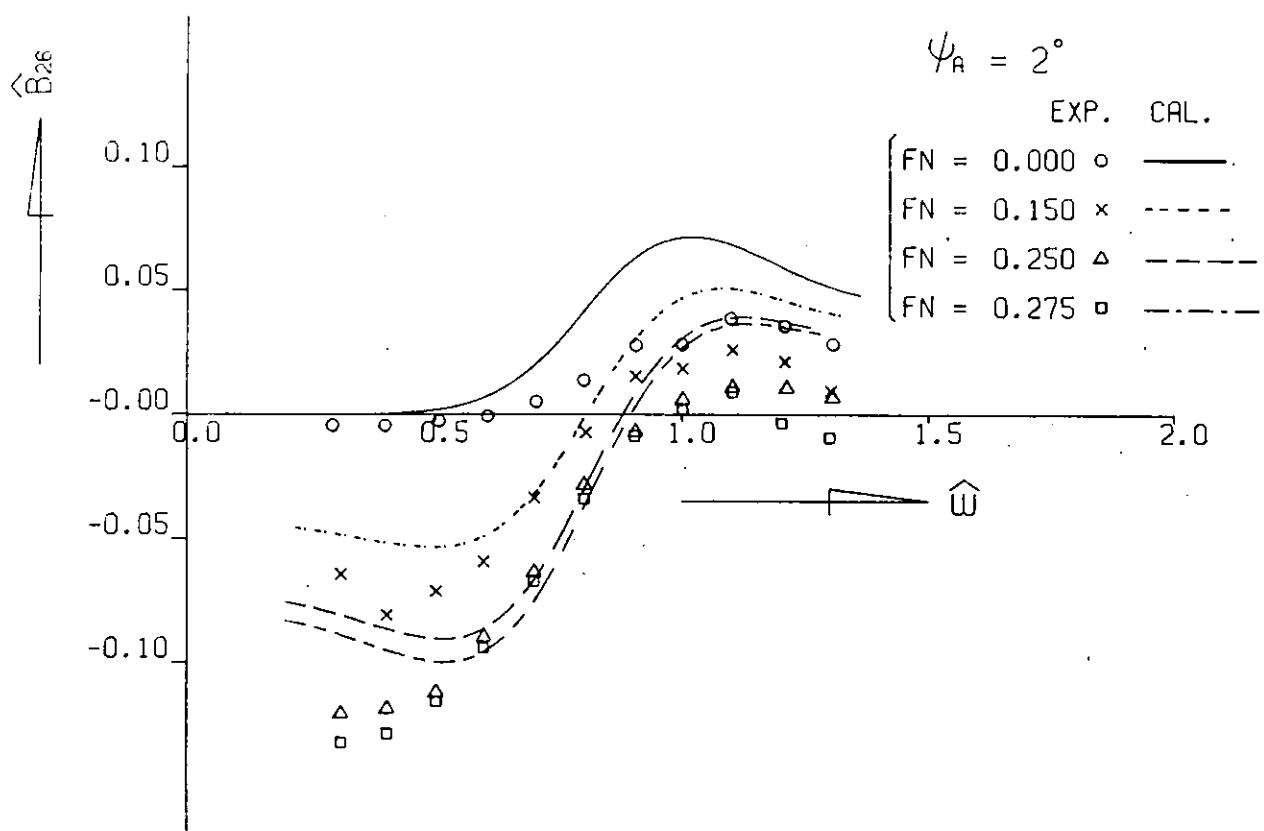


Fig. 3.3.11  $\hat{B}_{26}$  Coupling force coeff.of yaw into sway

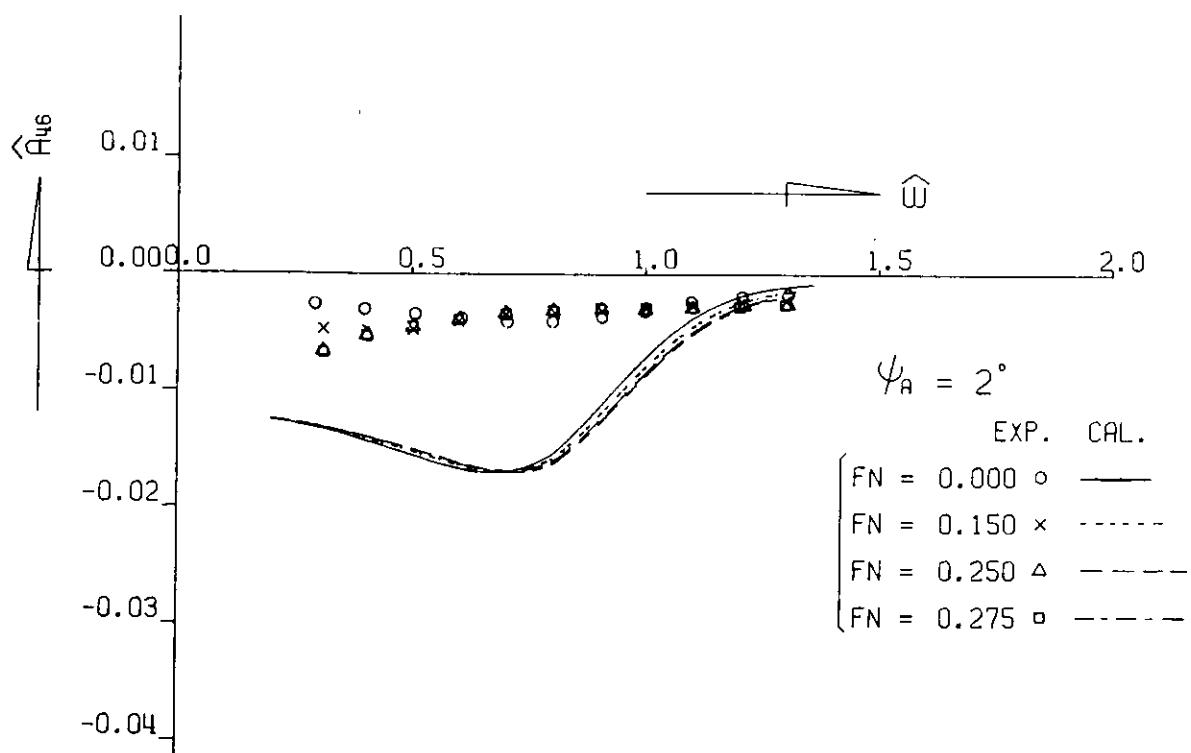


Fig. 3.3.12  $\hat{A}_{46}$  Coupling moment coeff.of yaw into roll

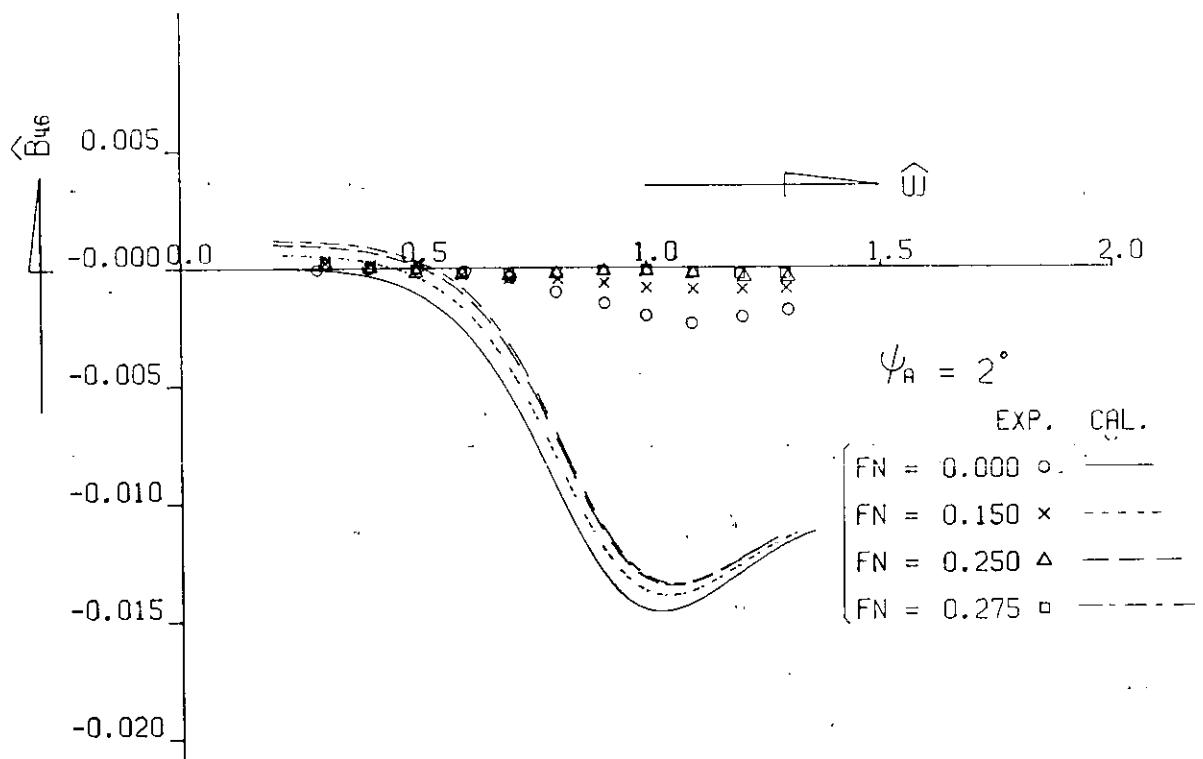


Fig. 3.3.13  $\hat{B}_{46}$  Coupling moment coeff. of yaw into roll

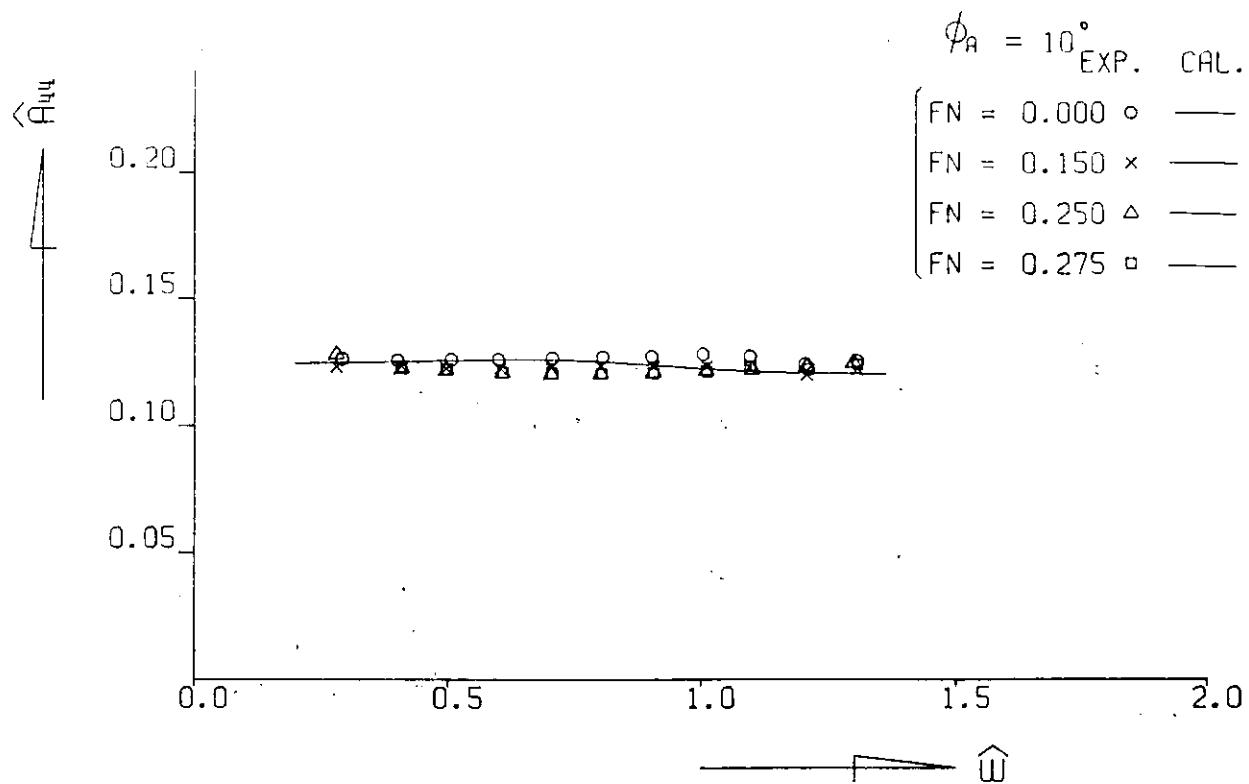


Fig. 3.3.14  $\hat{A}_{44}$  Virtual mass moment of inertia of roll

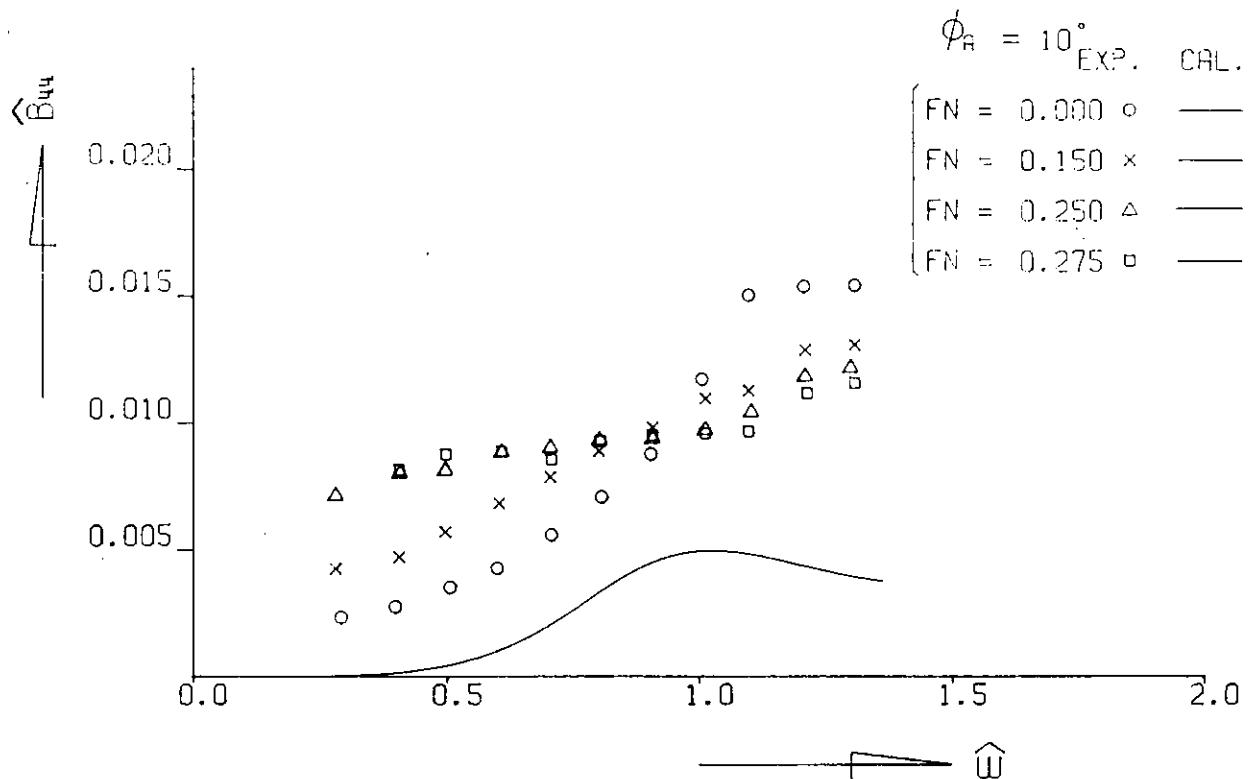


Fig. 3.3.15  $\hat{B}_{44}$  Damping moment coeff. of roll

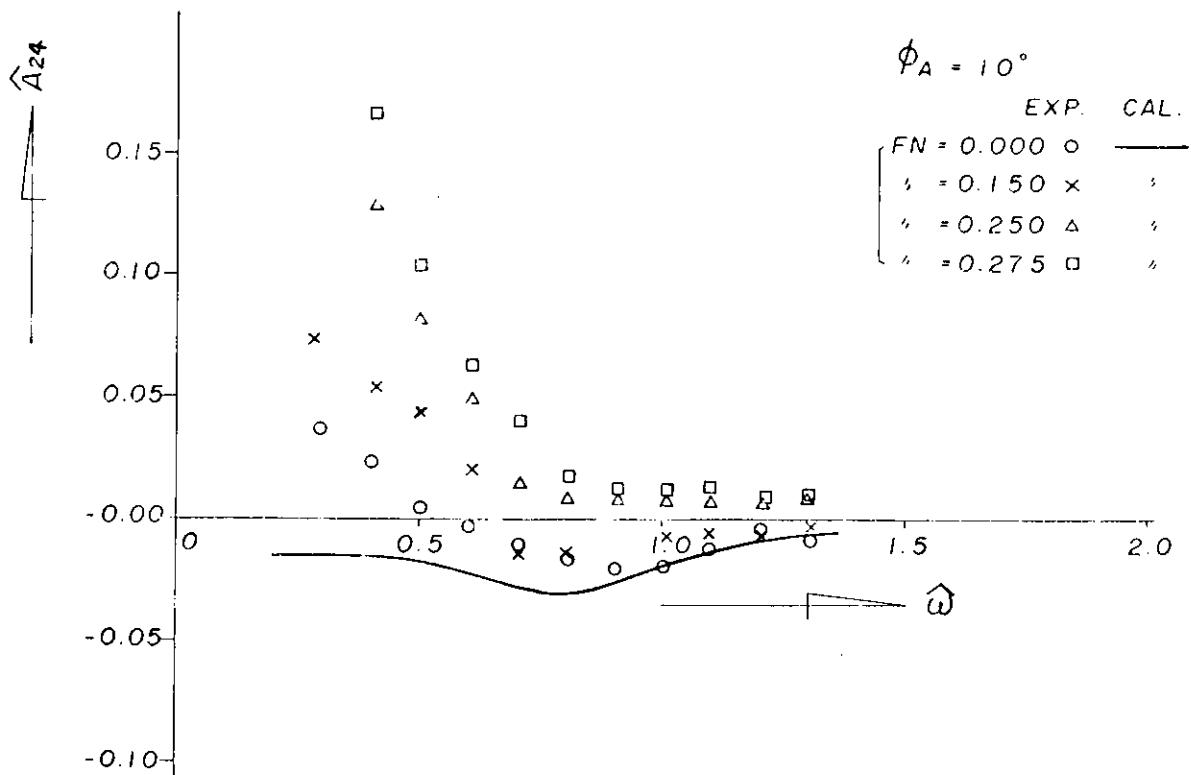


Fig. 3.3.16  $\hat{A}_{24}$  Coupling force coeff. roll into sway

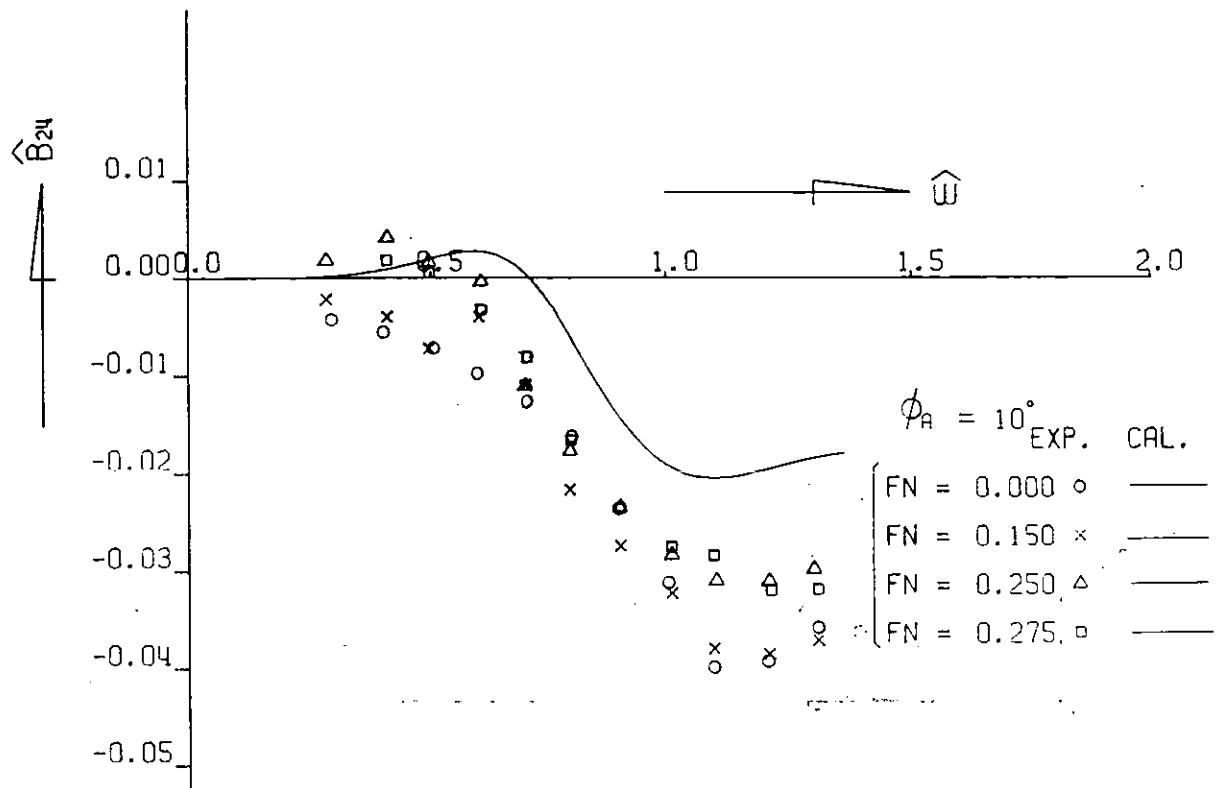


Fig. 3.3.17  $\hat{B}_{24}$  Coupling force coeff. of roll into sway

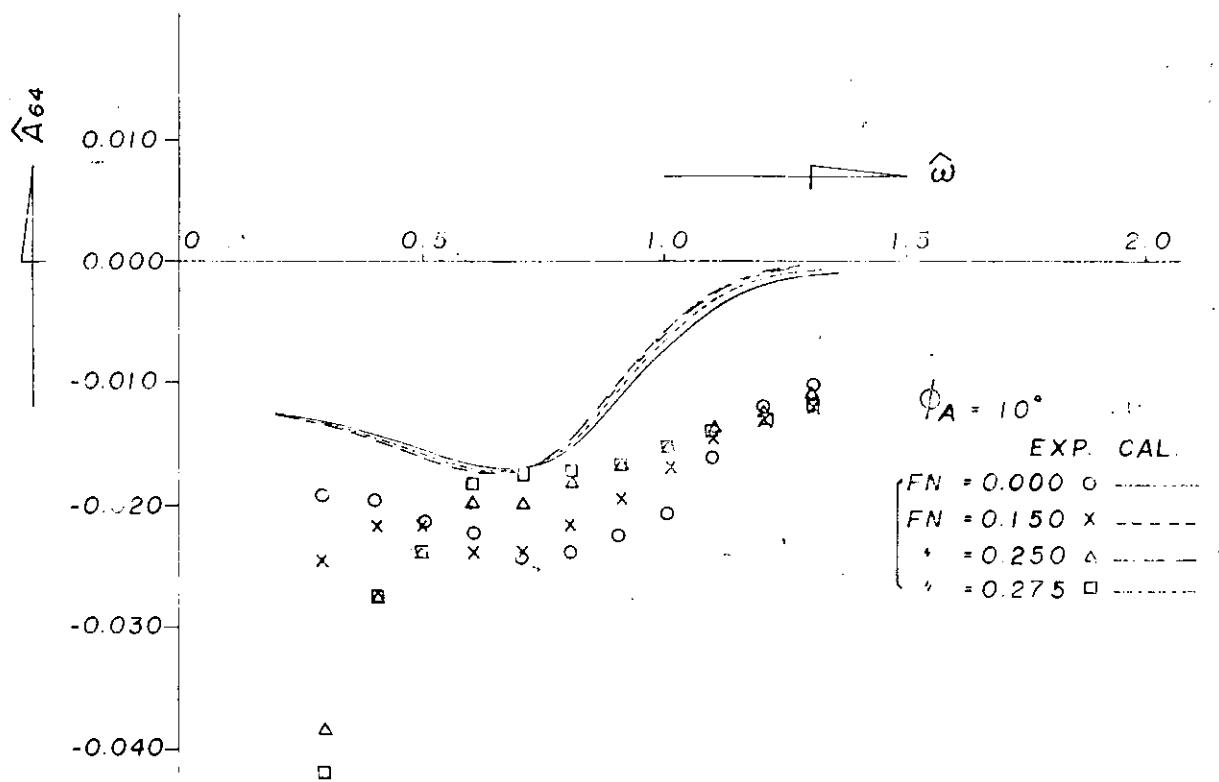


Fig. 3.3.18  $\hat{A}_{64}$  Coupling moment coeff. of roll into yaw

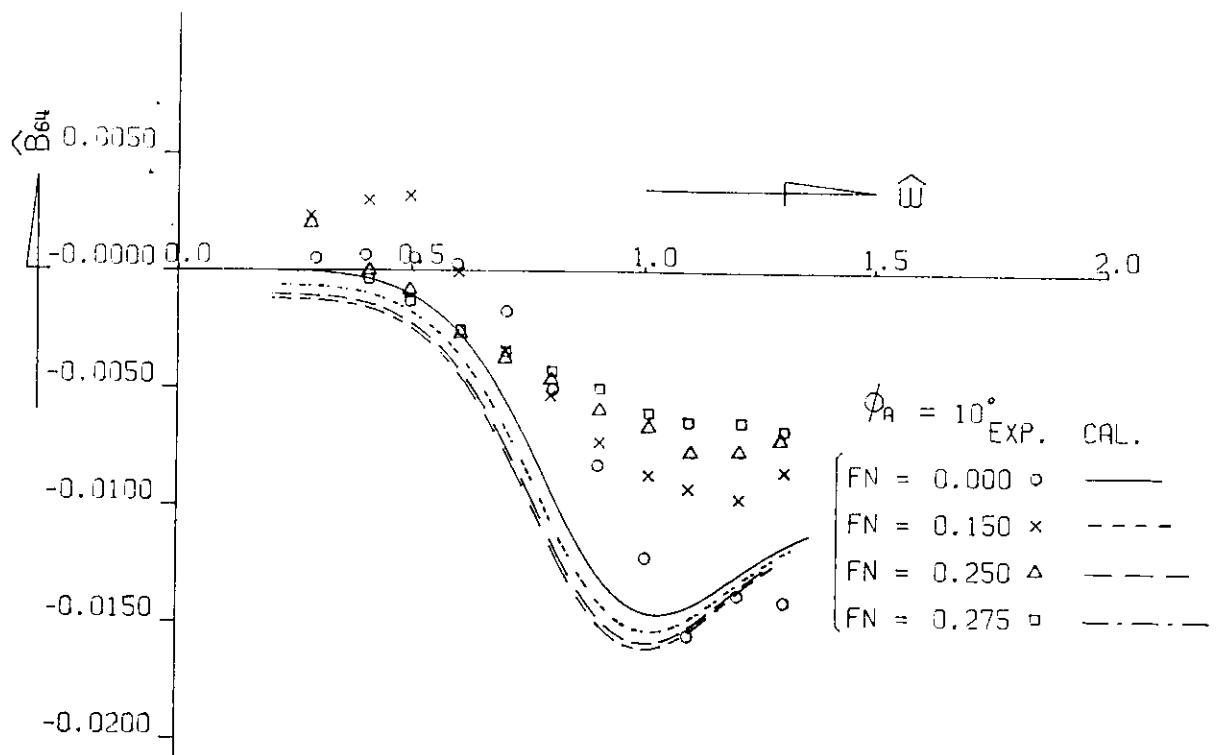


Fig. 3.3.19  $\hat{B}_{64}$  Coupling moment coeff. of roll into yaw

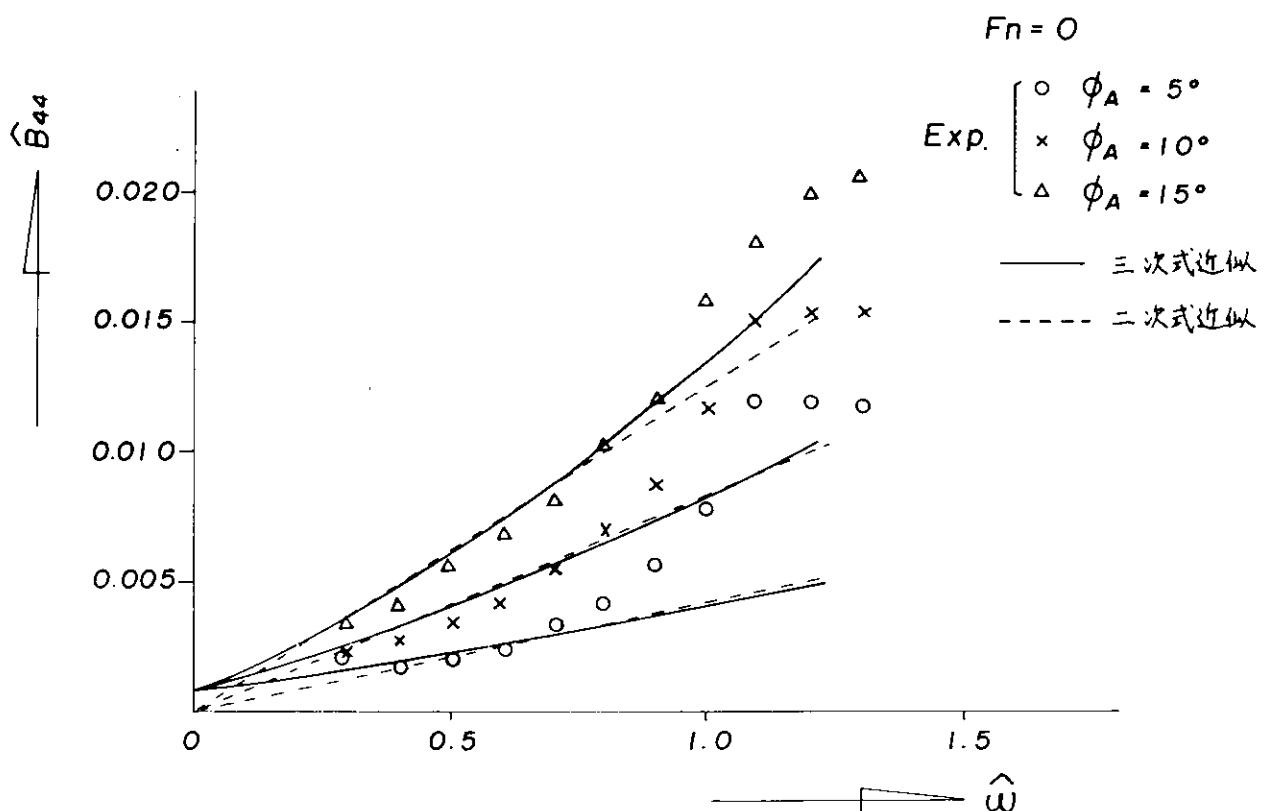


Fig. 3.3.20 横揺れ減衰係数  $F_n = 0$

$F_n = 0.15$

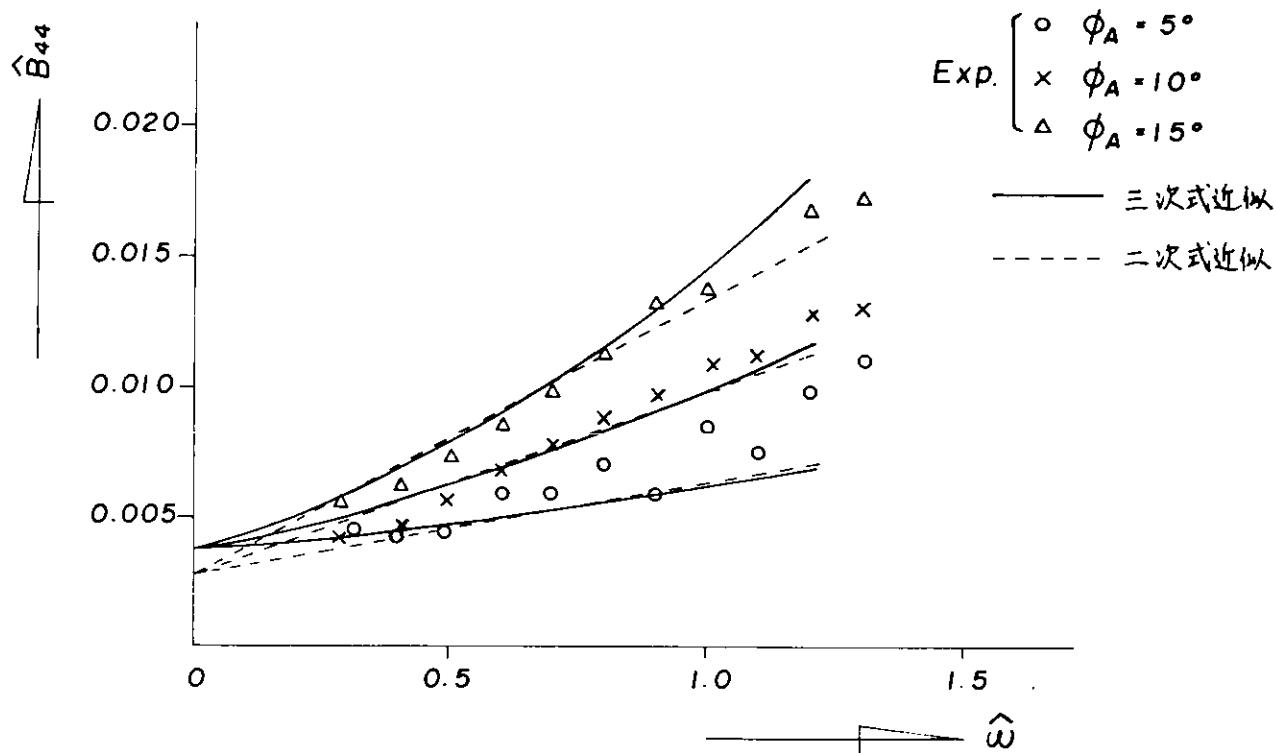


Fig. 3.3.21 横揺れ減衰係数  $F_n = 0.15$

$F_n = 0.25$

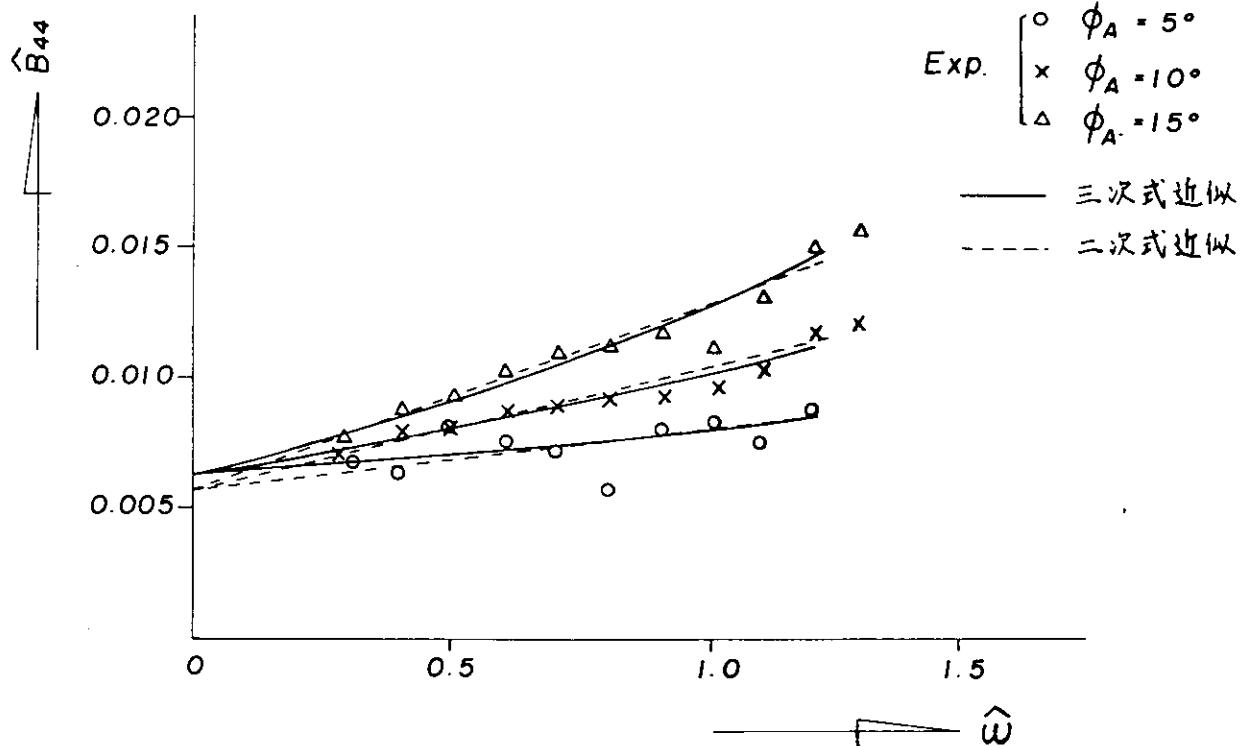


Fig. 3.3.22 横揺れ減衰係数  $F_n = 0.25$

$F_n = 0.275$

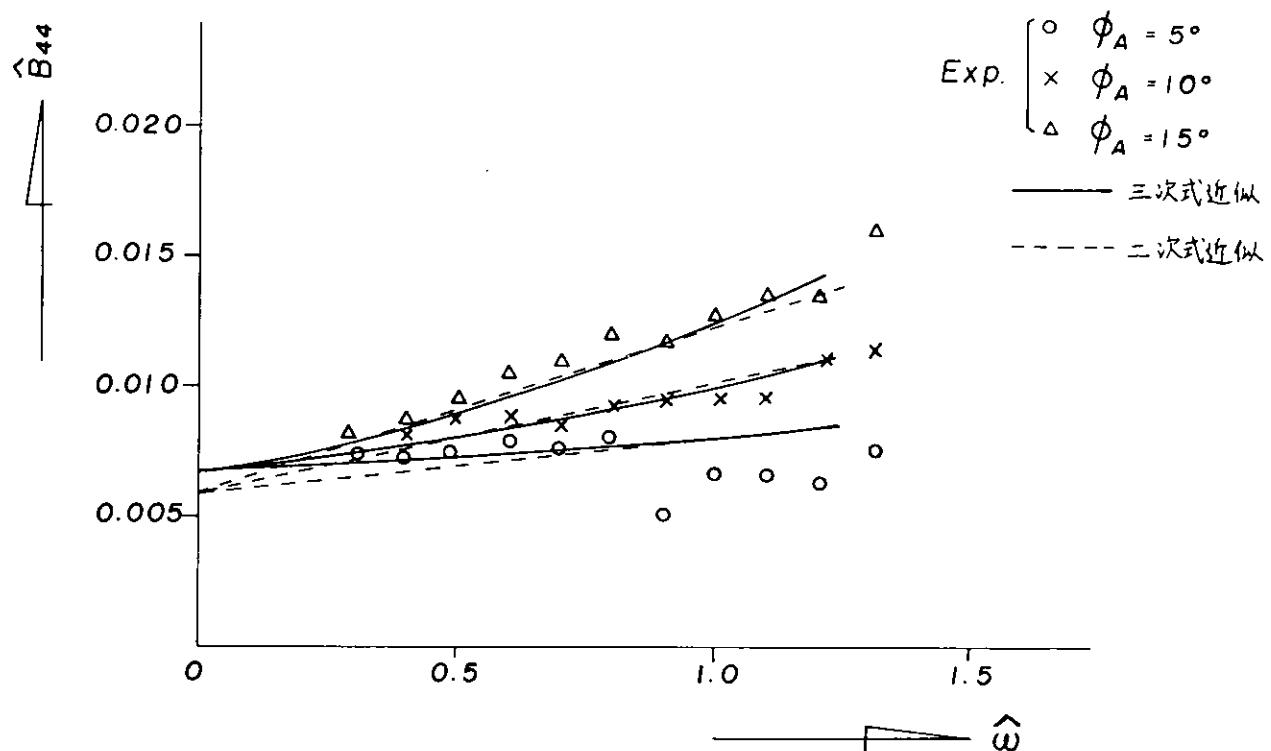


Fig. 3.3.23 横揺れ減衰係数  $F_n = 0.275$

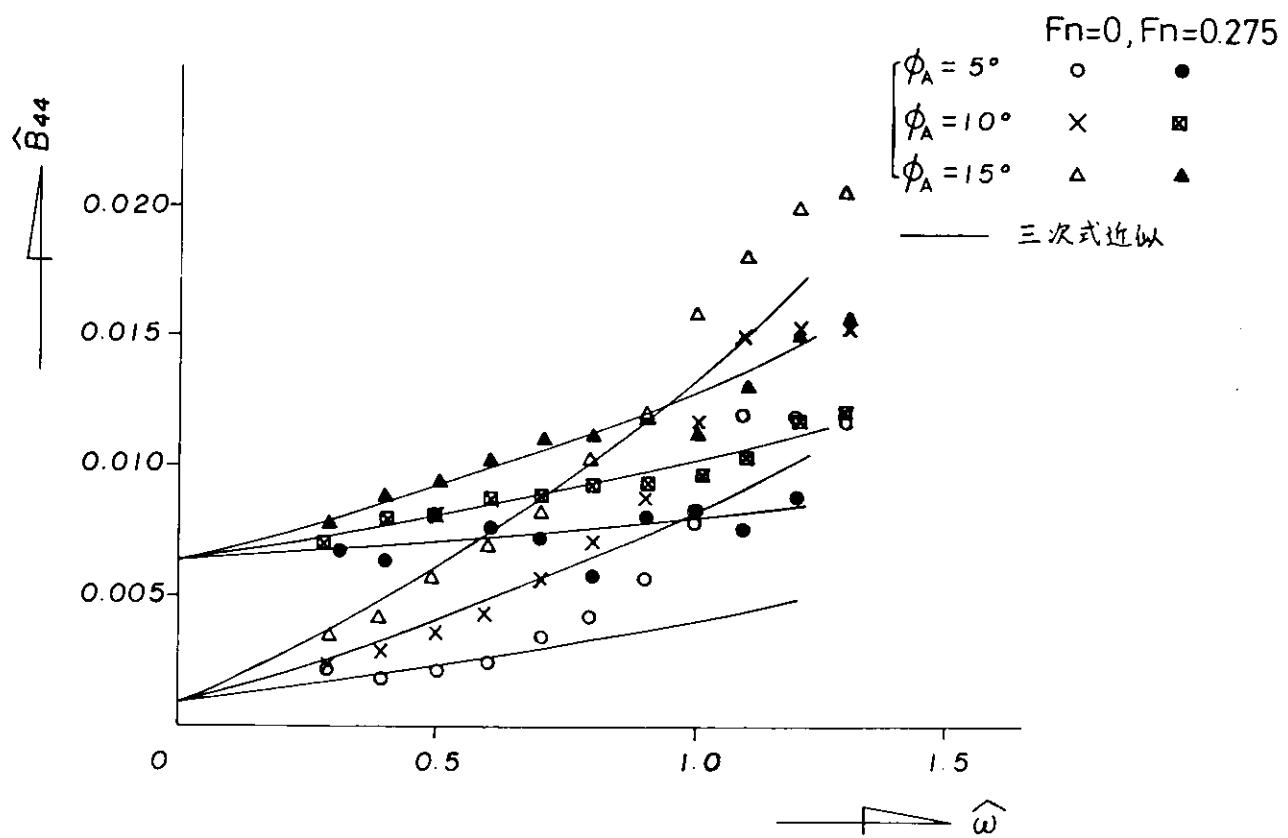


Fig. 3.3.24 横揺れ減衰係数の速度影響

### 3.4 波浪中の自動操舵

#### 3.4.1 はしがき

斜め波中の模型実験では船の方位及び進路を一定に保持する手段として自動操舵が用いられる。斜め波中では船体に働く漂流力及びモーメントは波長、船速、出会い角によって異なる或る定常な一定値をとるからこれに対応するようあて舵を適切にとれば、頻繁な大角度操舵を避けることができ、波浪中の船体応答に対する操舵の影響を最小にする可能性がある。しかしながら一般に実験の限られた時間内で最適のあて舵を見付けることは困難なので、自動方位設定装置、即ちauto-pilotが用いられる。その場合、舵角 $\delta$ は船の船首の変位及び角速度により、

$$\delta = -a\psi - b\dot{\psi} \quad \dots \quad (3.4.1)$$

のような値をとる。従って船と波との出会い周波数と同一の周波数で操舵することになり、操舵に伴う力が船体の応答に影響を及ぼす可能性がある。

そこでS-7船型の模型実験結果により操舵角が船体運動とくに船首揺れ及び横揺れに及ぼす影響を調べた。

#### 3.4.2 実験状態

模型船の状態はS-7の満載状態で、変動水圧の実験（前年度報告書参照）と同じである。自動方位設定装置は、森ほか<sup>1)</sup>が使用したのと同一のものを用いた。S-8船型に対する自動操舵の実験結果も比較のため引用することにする。

#### 3.4.3 操舵振幅の実験値

自動操舵の操舵振幅 $\delta_a$ と、船首揺れの振幅 $\psi_a$ の実験値を示すとFig. 3.4.1, Fig. 3.4.2のようになる。

$\delta$ と $\psi$ との間には(3.4.1)式のような関係があるから、

$$\psi = \psi_a \cos(\omega_e t + \epsilon_4) \quad \dots \quad (3.4.2)$$

$$\text{とおくと } \delta_a = \psi_a \sqrt{a^2 + b^2 \omega_e^2} \quad \dots \quad (3.4.3)$$

である。そこで $\omega_e/\omega_c$ をベースに、(3.4.3)式による $\delta_a \equiv \delta_0$ と、実験値との比 $\delta_a/\delta_0$ を両対数方眼紙にとるとFig. 3.4.3のようになる。また、S-8船型に対する同様の実験結果をFig. 3.4.4に示す。これらの図によると、次のことがわかる。

- (a) S-7の実験点の方がバラツキが大きいが、両船型の実験値の $\omega_e$ に対する傾向は同じであり、これが実験に用いた自動方位設定装置の特性を示すものと考えられる。
- (b) S-7の実験点のバラツキが大きいのは、実験中に係数 $b/a$ の値を広範囲に変化させたためであろう。

#### 3.4.4 船体運動に及ぼす自動操舵の影響について

模型実験によって船体運動に及ぼす自動操舵の影響を調べるためにには、係数 $a$ ,  $b$ を種々に変化させて波浪中の実験を行うか、山内ほか<sup>2)</sup>が行なった実験のように平水中で舵を正弦操舵してその時の船体運動を測定する等の方法が考えられる。

理論計算ではストリップ法に基く運動方程式の右辺に舵の力による左右力、船首揺モーメント及び横揺れモーメントを加えればよいが、(3.4.1)式の関係で船首揺れと関係づけられるので、舵の力を船首揺れの項に加えることができる。その場合模型実験との対応を見るためにはFig. 3.4.3～3.4.4に示すような特性を、位相関係を含めて考慮する必要がある。S-8船型について行なった試算では自動操舵による横揺れ振幅への影響はほとんど無視できる程小さいという結果を得たが、今後さらに広範囲な解析が必要である。

なお、船が斜め波中で動揺すると一般にdrifting force及びmomentを受け、船の方位、船の重心の進路の方向、自動操舵の設定方位は一般に一致しない。船の方位と重心の進路とが一致せず大きい漂流角を有する場合には、船体応答の表現法や、ストリップ法による計算法について菅井ほか<sup>3)</sup>による修正も必要であろう。そのため模型実験では漂流角を測定しておく必要がある。コンテナ船のように高速で、波浪中の速度低下が少い場合の漂流角は、S-8

船型の実験値によれば最大で3°程度（ $F_n = 0.25$ の場合の値）であったので、特に漂流角に対する考慮をしなくてもよいと言える。

#### 参考文献

- 1) 森信篤ほか；自航模型船の自動方位設定試験、船研講演会（第18回）概要、昭和46年11月
- 2) 山内保文ほか；船型式の推進操縦性能に及ぼす影響、運研講演会（第24回）概要、昭和37年11月
- 3) 菅井和夫ほか；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、第133号、昭和48年5月。

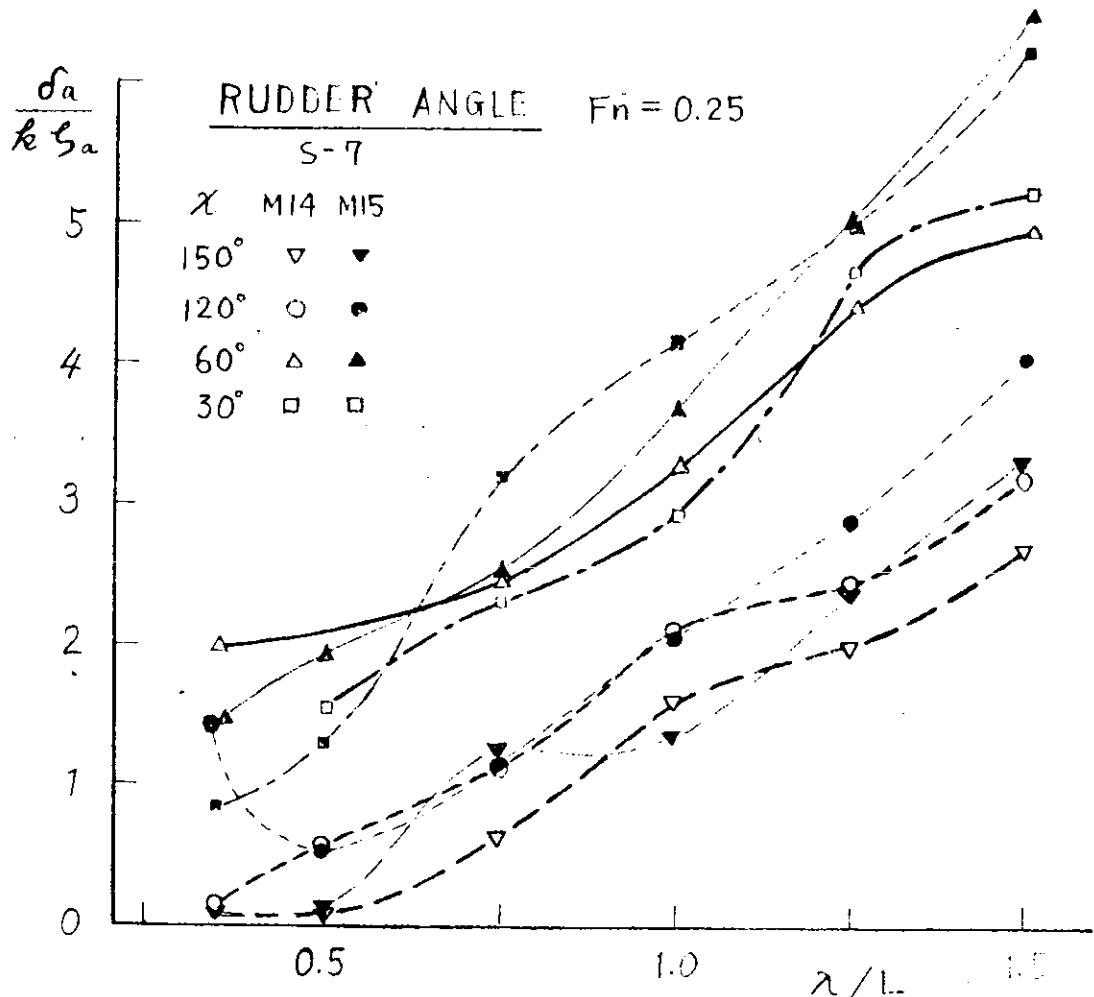


Fig. 3.4.1 操舵角振幅

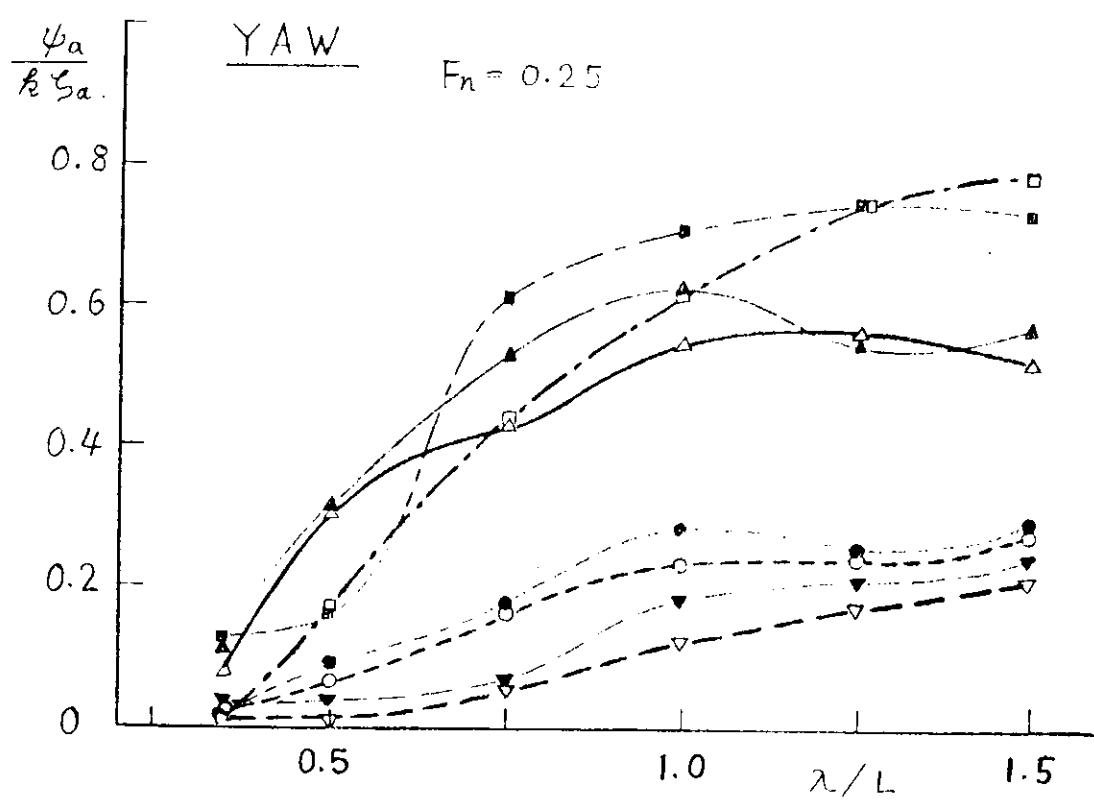


Fig. 3.4.2 船首揺れ振幅

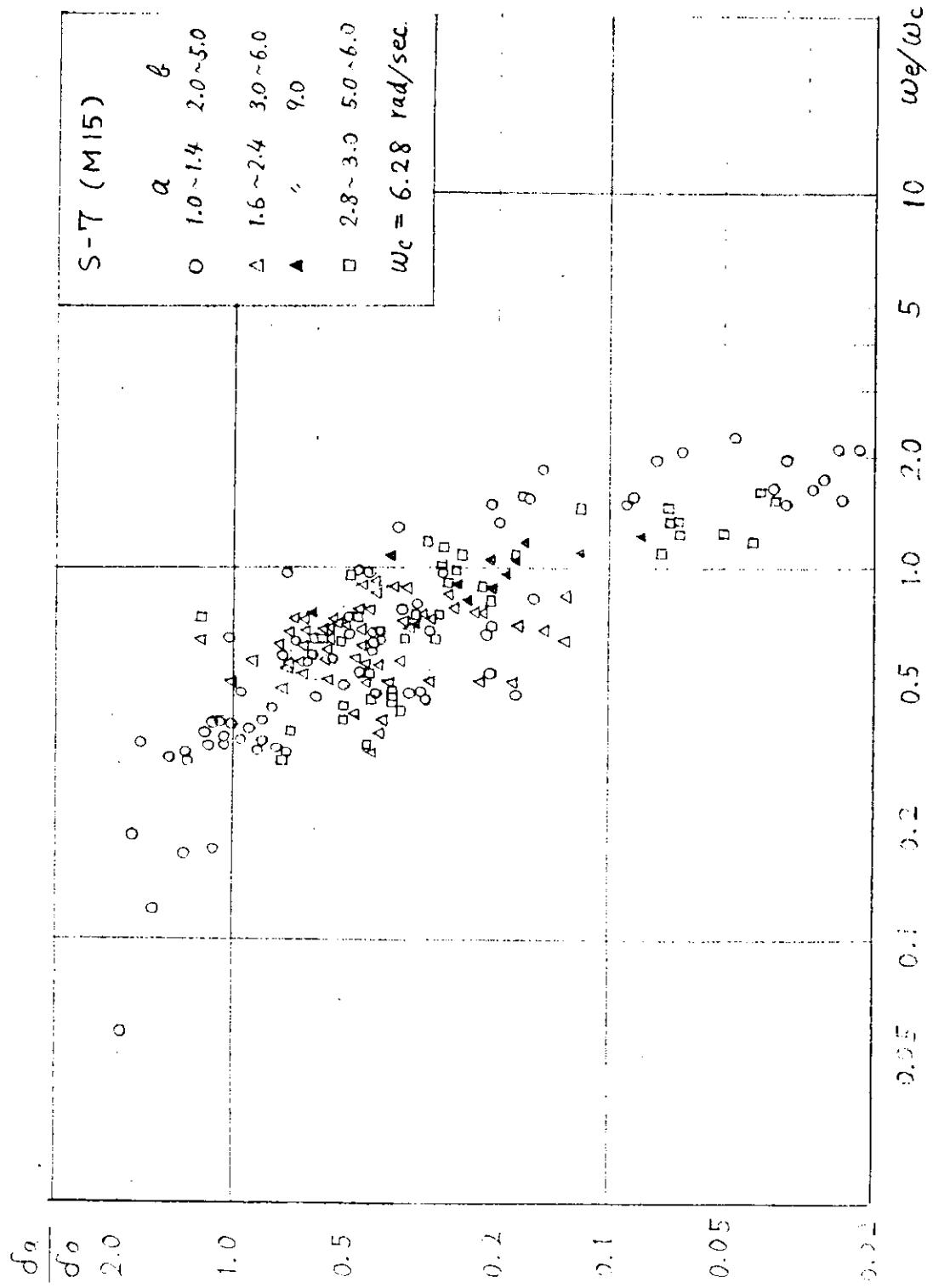


Fig. 3.4.3 操舵振幅 ( S - 7 )

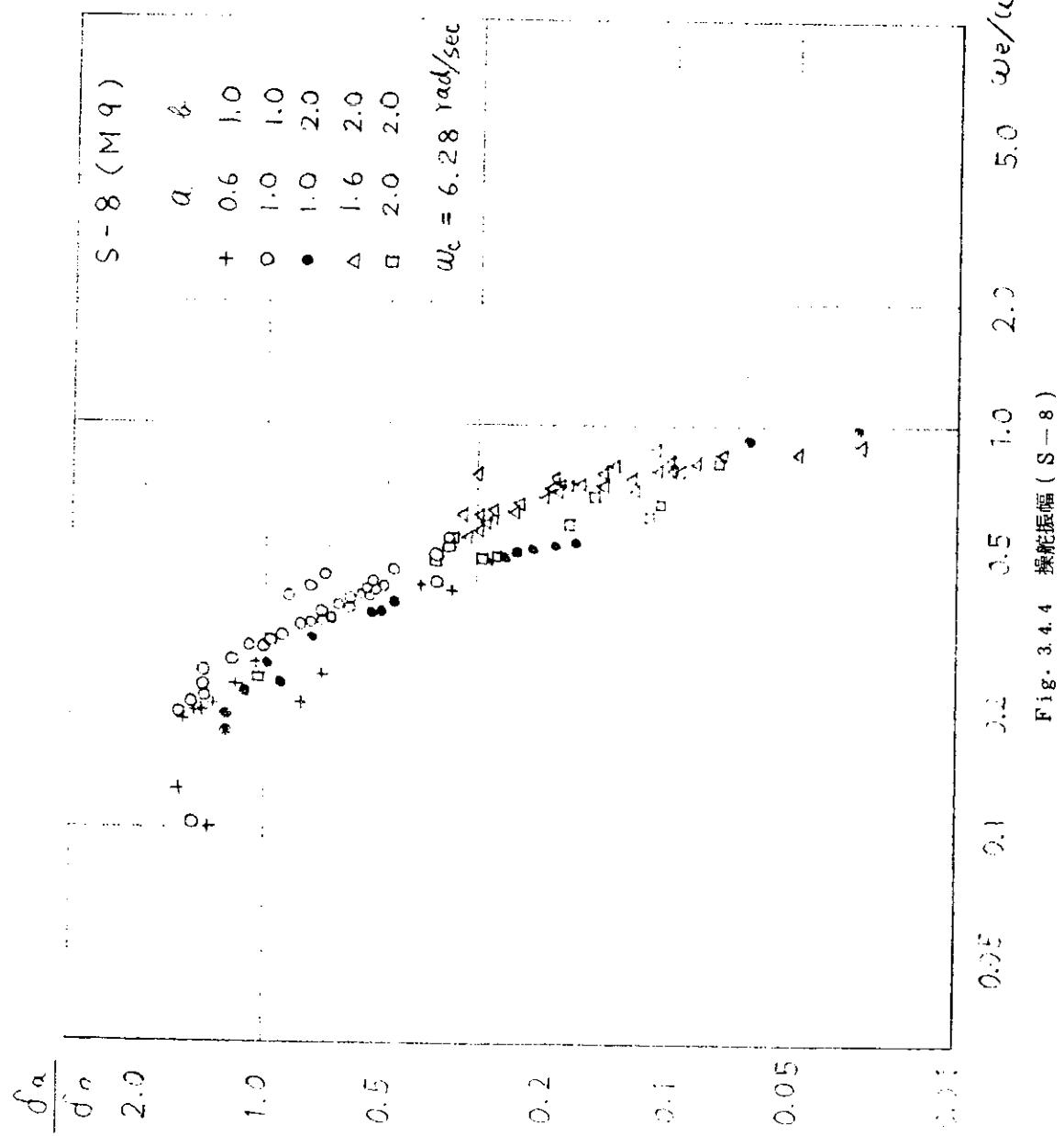


Fig. 3.4.4 操舵振幅 ( $S - 8$ )

### 3.5 斜波中の抵抗増加に関する水槽試験

#### 3.5.1 試験の目的

波浪中における推進性能は、波浪中における抵抗増加が与えられればこれと自航要素およびプロペラ特性とを組合せることによって推定することができる。正面向波中の抵抗増加に関しては理論的にも実験的にもこれまでに数多くの研究が行なわれてきたが、斜波中の抵抗増加に関してはほとんど研究がなされておらず、最近になってようやく細田<sup>1)</sup>により具体的な理論計算が行なわれ斜波中抵抗増加の性質が明らかにされつつある。斜波中の抵抗増加に関する実験も、6自由度の運動をしている模型船の抵抗をどのように計測するかという実験技術上の問題もあってこれまでほとんど実施されておらず確立した試験法もないようである。しかし、いくらかの制約はあるにしても斜波中の抵抗増加の計測を行ない、理論計算の適用性を実験的にも確認していく必要がある。このような目的で、SR108型の1軸コンテナ船について斜波中の抵抗増加の計測を行なった。

#### 3.5.2 水槽試験

水槽試験は、三菱重工業㈱長崎研究所の耐航性能水槽（長さ160m×幅30m×深さ3.5m）で実施した。

##### (1) 供試模型船および試験状態

供試模型船はSR108型の1軸コンテナ船の1/50縮尺模型船、 $L_{pp} = 3.5\text{ m}$ の木製模型船を用いた。副部としてはビルジキールおよび舵を装着した。試験状態は、Full load even keelとし、GMおよび横揺周期は実船対応値でそれぞれ1mおよび18.5 secを調整した。模型船の主要目をTable 3.5.1に示す。また模型船の写真をPhoto. 3.5.1に示す。

##### (2) 試験範囲

試験範囲をTable 3.5.2に示す。波方向は $\mu = 180^\circ$ （正面向波）から $\mu = 0^\circ$ （追波）まで $30^\circ$ 毎に、波長範囲は $\lambda/L = 0.5 \sim 2.0$ 、波高は一定で $hw/L = 1/50$  ( $hw = 7\text{ cm}$ ) 1種、船速は $F_n = 0.15$ および0.25とし正面向波の場合のみ $F_n = 0.20$ , 0.30も加えて詳しく実施した。なお、横揺れ特性も調査するため $\mu = 90^\circ$ （横波）、 $F_n = 0$ において横揺同調をこえる波長まで試験を行なった。

##### (3) 試験方法

波浪中抵抗増加の計測には、Photo. 3.5.2に示すような斜波中用の重錘式抵抗動力計<sup>2)</sup>を用いた。この装置は6成分の船体運動計測装置と同様な形式のもので、曳航ロッドを兼ねたHeaving poleがSurging carriageに支えられ、これが抵抗計測用の Differential pulleyに結ばれており、これら全体がさらにSurging carriageに乗った構造になっている。曳航ロッドの下端は、Pitch, Yaw, Rollに対して自由な回転機構が付いている。Swaying carriageは弱いコイルバネで支持されており、このバネはSwayingに對してはほとんど影響を与えない波から受けるMean driftだけを抑える働きをしている。またPulleyの軸には弱いバネが付けてあり、重錘と抵抗との不均衡分はこの付加バネの変位として取出すようになっており、重錘と抵抗のバランス状態を記録するとともに計測精度の向上も計っている。

この装置は、Swaying carriageができる限り軽量につくってあるが、重錘も含めてSwayingするのでそれらの慣性が船体の横方向運動にいくらか影響を与えている筈である。しかしながら、細田によって示されたように「波浪中抵抗増加には縦運動の影響が支配的である。」ということを考えると、この動力計によつてはほんの少し斜波中の抵抗増加が計測されているものと考えられる。

斜波中試験は、X-Y曳引車を指定された方向および速度で運転し、かつ模型船の方位が指定の方位を保つように必要に応じて当舵をして実施した。なお、曳航点はS.S. 7½の重心高さとした。試験状況をPhoto. 3.5.3に示す。

#### 3.5.3 実験結果<sup>3)</sup>

##### (1) 波浪中抵抗増加

波浪中抵抗増加に関する実験結果をFig. 3.5.1～2に示す。抵抗増加は次のように無次元化し $\lambda/L$ を横軸にとって

示した。

$$\sigma_{AW} = \frac{R_{AW}}{\rho g h_A^2 B^2 / L}$$

ただし  $R_{AW} = R_T - R_0$       L : 船長

$R_T$  : 波浪中全抵抗      B : 船幅

$R_0$  : 平水中抵抗       $\lambda$  : 波長

$h_A$  : 波振幅

実験結果は、参考資料3)に示されている細田による計算値と比較した。細田による計算値は、斜追波の場合はmodifiedと記されているもの(実験値を参照して修正されたもの)と、無修正のものと両方記入してある。

正面向波  $\mu = 180^\circ$  の  $F_n = 0.15, 0.20$ においては計算値は実験値に大略近い値を示しているが、 $F_n = 0.25, 0.30$ においては計算値がいくらか低いようである。斜向波の  $\mu = 150^\circ, 120^\circ$ においても  $F_n = 0.15$ においては計算値は実験値に近い値を示しているが、 $F_n = 0.25$ では波長の短かいところで計算値が低いようである。 $\mu = 90^\circ, 60^\circ, 30^\circ, 0^\circ$ においては、抵抗増加は小さい。計算値のmodifiedの方は、オーダー的には実験値に近い値を示していると云える。

## (2) 船体運動

船体運動の実験結果をFig.3.5.3～5に示す。 $\mu = 180^\circ$  の場合は  $F_n = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$ に対する実験結果を示し、斜波  $\mu = 150^\circ \sim 30^\circ$  の場合は代表例として  $F_n = 0.25$ における実験結果のみを示した。船体運動の振幅は次のように無次元化し、 $\lambda/L$ を横軸にとって示した。

Heaving :  $z_A/h_A$ , Swaying :  $y_A/h_A$

Pitching :  $\theta_A/kh_A$ , Yawing :  $\psi_A/kh_A$

Surging :  $x_A/kh_A$ , Rolling :  $\phi_A/kh_A$

ただし  $k = 2\pi/\lambda$

船体運動の計算値は細田が抵抗増加の計算に用いたものを実験値と比較した。

$\mu = 180^\circ$ でPitchingの計算値は実験値よりいくらか小さい程度であるが、Heavingの計算値は一般にいわれている通り  $\lambda/L = 1.2$ 付近で実験値よりもいくらか大きくなっている。斜波中ではHeaving, Pitching, Rollingの計算値はほぼ実験値に近い値を示している。横方向運動に対してここで用いた重錘式動力計がどのような影響を与えていたのかよくわからないが、斜追波におけるYawingがいくらか小さいようにも思える。

Fig.3.5.6は自由横揺れ試験結果でN係数を示す。Fig.3.5.7は停泊時横波中のRollingの実験結果である。なお計算値はRollingの減衰項に修正を加えて<sup>5)</sup>計算した値であるが実験値にはば近い値を与えている。

## 参考文献

- 1) 細田竜介：斜波中における船体抵抗増加に関する研究、造船学会論文集第133号(昭和48年6月)
- 2) 藤井 齊、高橋 雄：肥大船の波浪中抵抗増加推定法に関する実験的研究、昭和50年5月造船学会春季講演会にて講演予定
- 3) SR125研究部会資料：波浪中におけるNominal Speed Loss, 資料番号SR125-16-2(昭和49年1月22日)
- 4) SR125研究部会資料：コンテナ船の斜め規則波中抵抗試験結果、資料番号SR125-19-4(昭和49年9月18日)
- 5) 藤井 齊、高橋 雄：斜め波中における船体運動、変動水圧の計算法に対する実験的検証、西部造船会々報第49号(昭和49年12月)

Table 3.5.1 Principal particulars of the model

Items	
Length betw. p.p.	L <sub>PP</sub> 3.500 m
Breadth mid.	B 508.0 mm
Draft	d 190.0 mm
Trim	t 0
Displacement vol.	$\Delta$ 193.57 kg
Block coeff.	C <sub>b</sub> 0.5725
Midship coeff.	C <sub>m</sub> 0.9700
Water plane coeff.	C <sub>w</sub> 0.7107
Position of C.G.	I <sub>CG</sub> 51.454 %
Height of C.G.	KG 190.3 mm
Metacentric height	GM 19.7 mm
Radius of gyration	k <sub>yy</sub> /L 0.24
Rolling period	T <sub>φ</sub> 2.62 sec
Appendages	Bilge keels Rudder

Table 3.5.2 Tested range

Wave direction $\mu$	Froude number F <sub>n</sub>	Wave length $\lambda/\lambda_L$	Wave height h/w/L
180°	0.15, 0.20, 0.25, 0.30	0.5 ~ 2.0	1/50
150°	0.15, 0.25	§	§
120°	§	§	§
90°	§	§	§
60°	§	§	§
30°	§	§	§
0°	0.15, 0.25	§	§

### Resistance Increase Coeff. in Waves

SR 108 Container Ship

$F_n$	Measured	Computed
0.15	—○—	—
0.20	—△—	—
0.25	—□—	—
0.30	—◇—	—

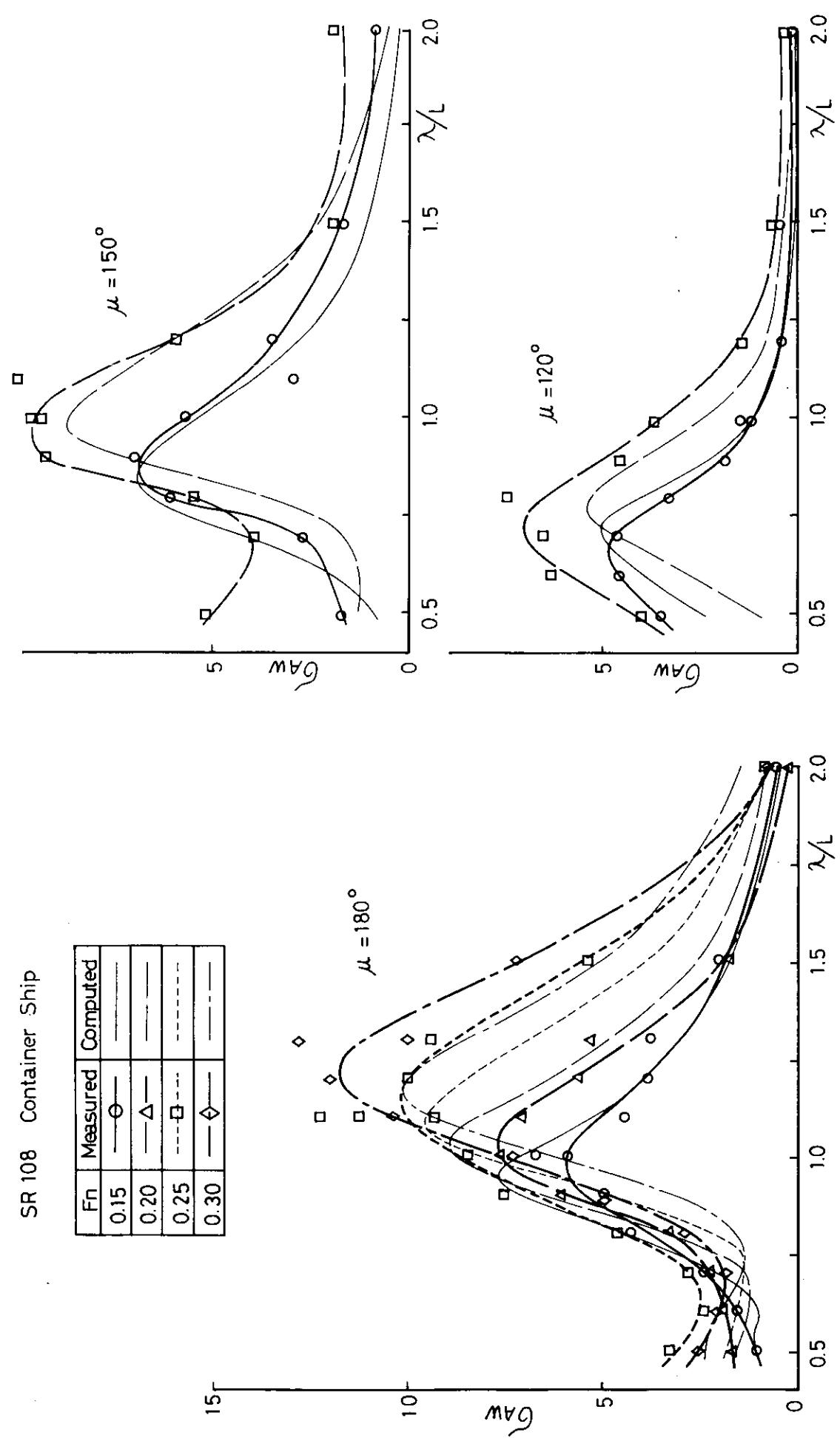


Fig. 3.5.1 Resistance increase coeff. in waves

Resistance Increase Coeff. in Waves  
SR 108 Container Ship

$F_n$	Measured	Computed
0.15	○	—
0.25	□	—

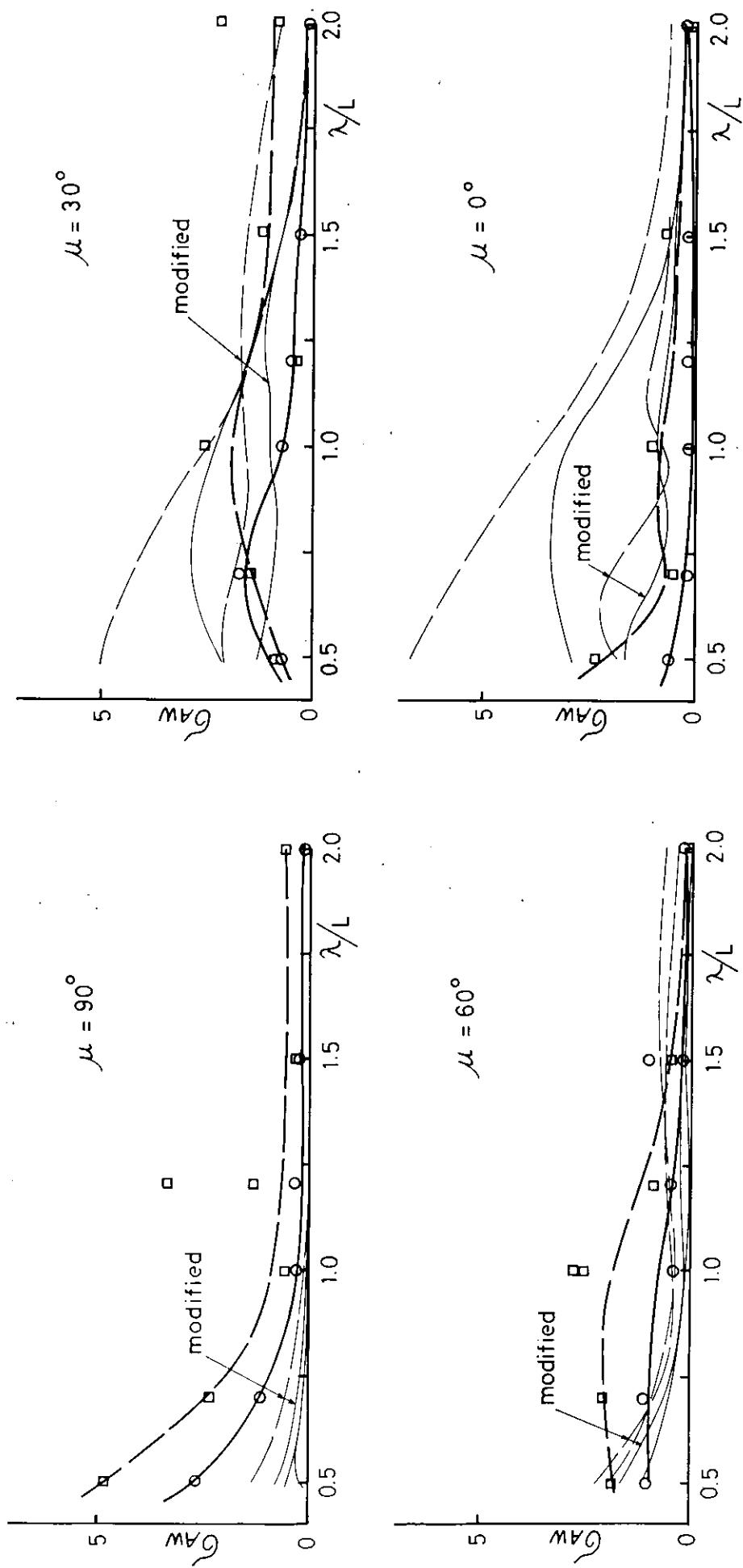


Fig. 3.5.2 Resistance increase coeff. in waves

Ship Motions in Head Waves

SR 108 Container Ship

$\mu$	$F_n$	Measured	Computed
180°	0.15	○	—
180°	0.20	△	—
180°	0.25	□	—
180°	0.30	◊	—

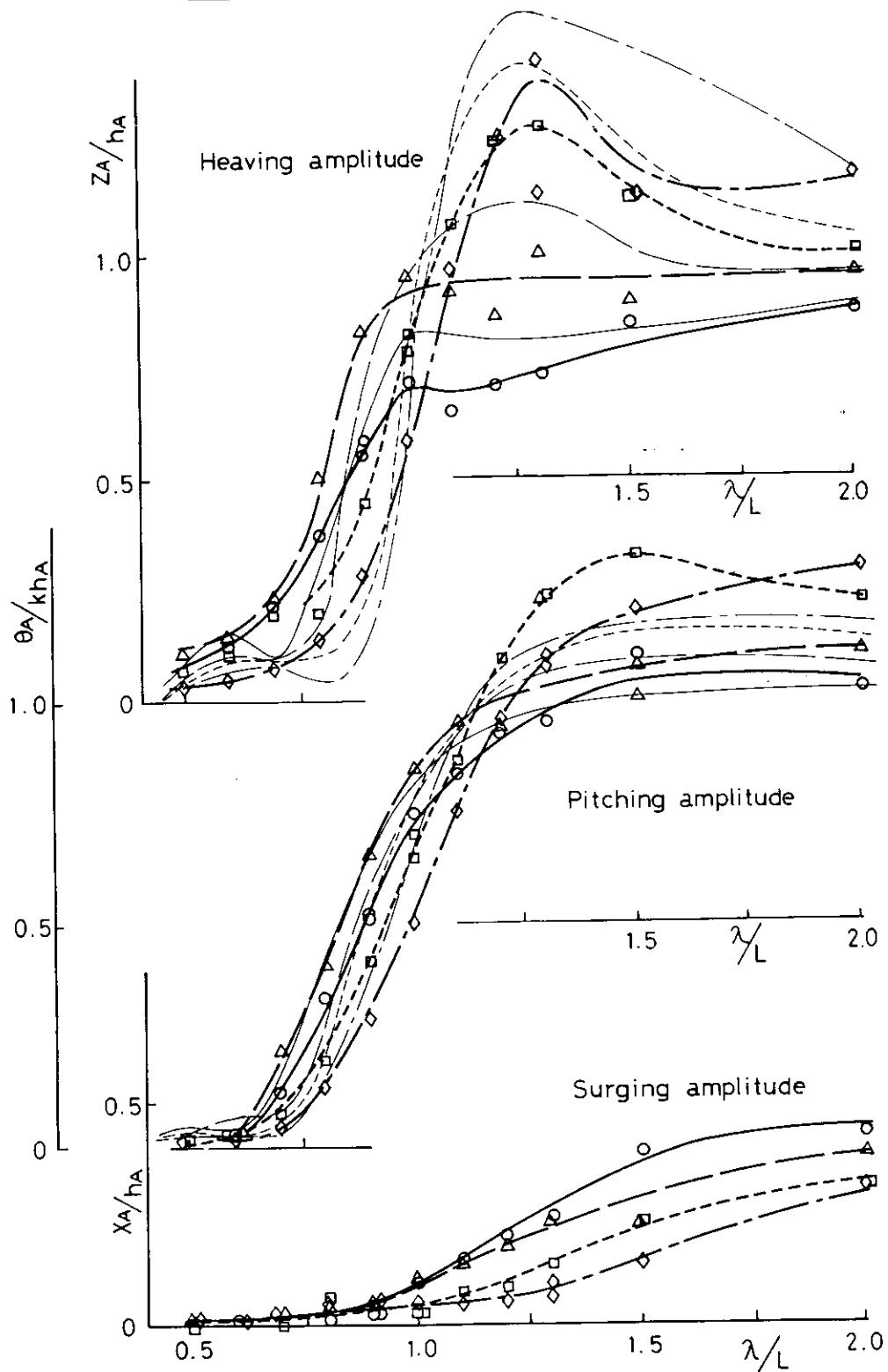


Fig. 3.5.3 Ship motions in head waves

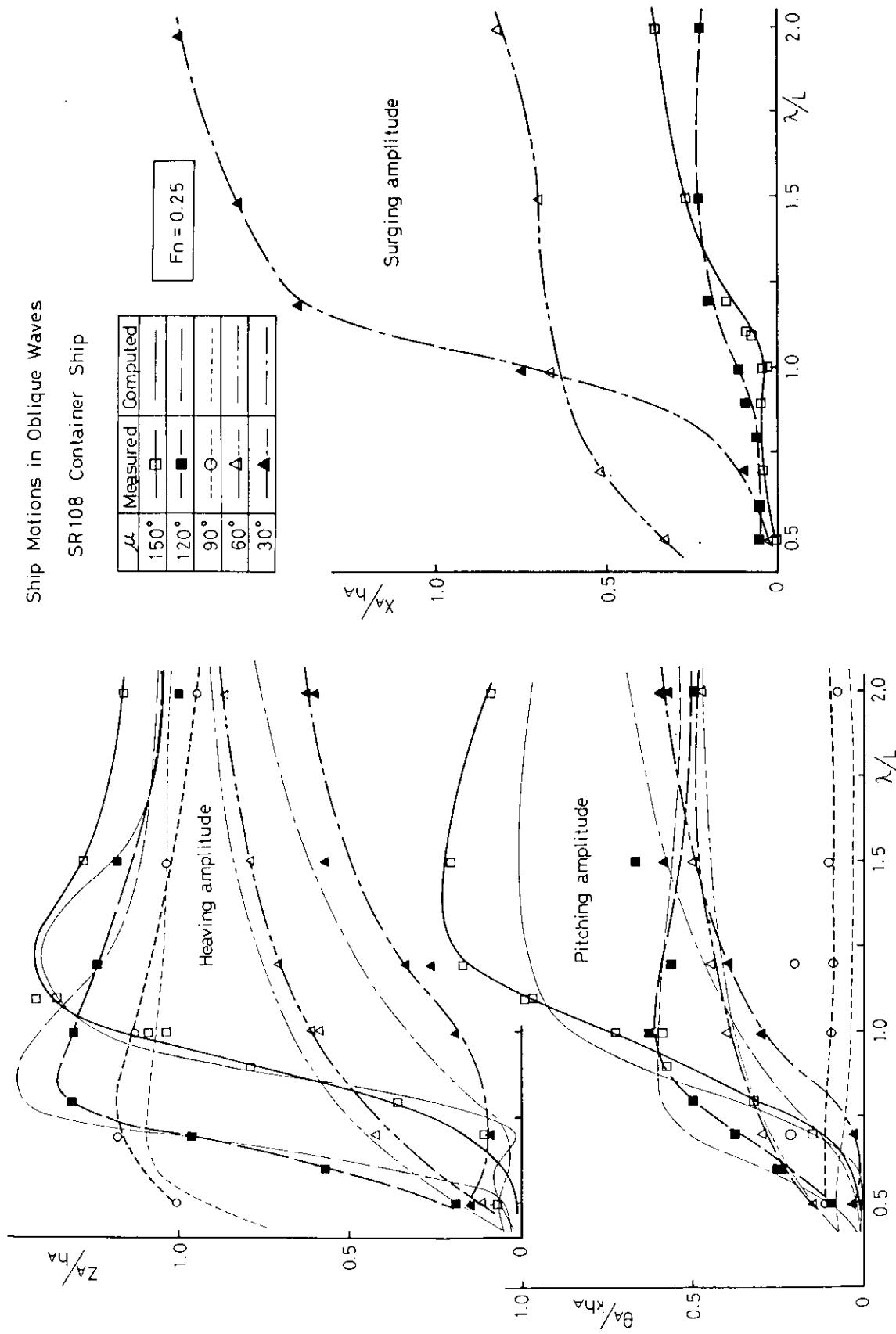


Fig. 3.5.4 Ship motions in oblique waves

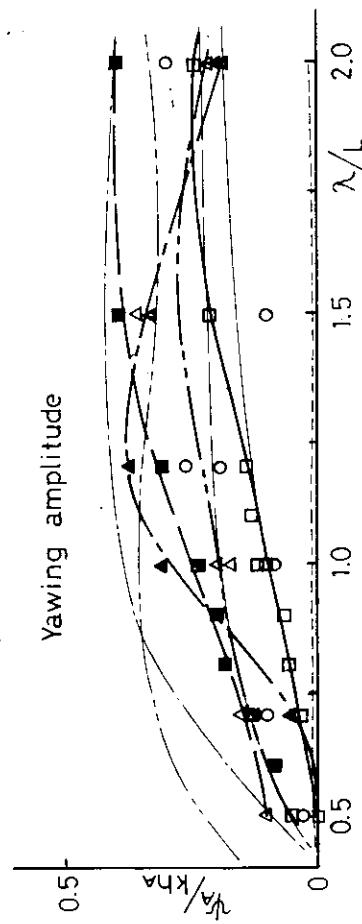
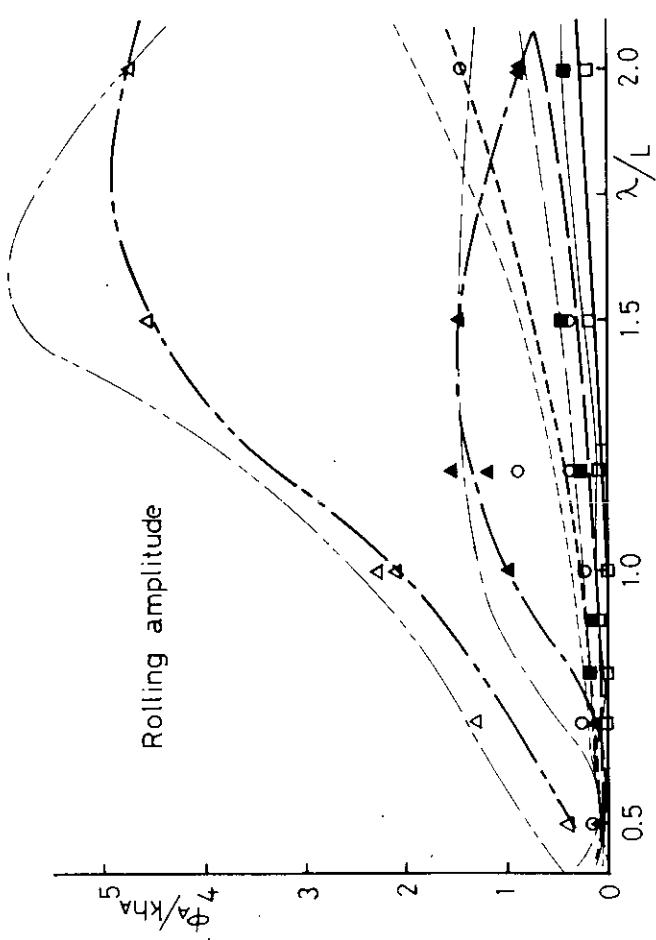
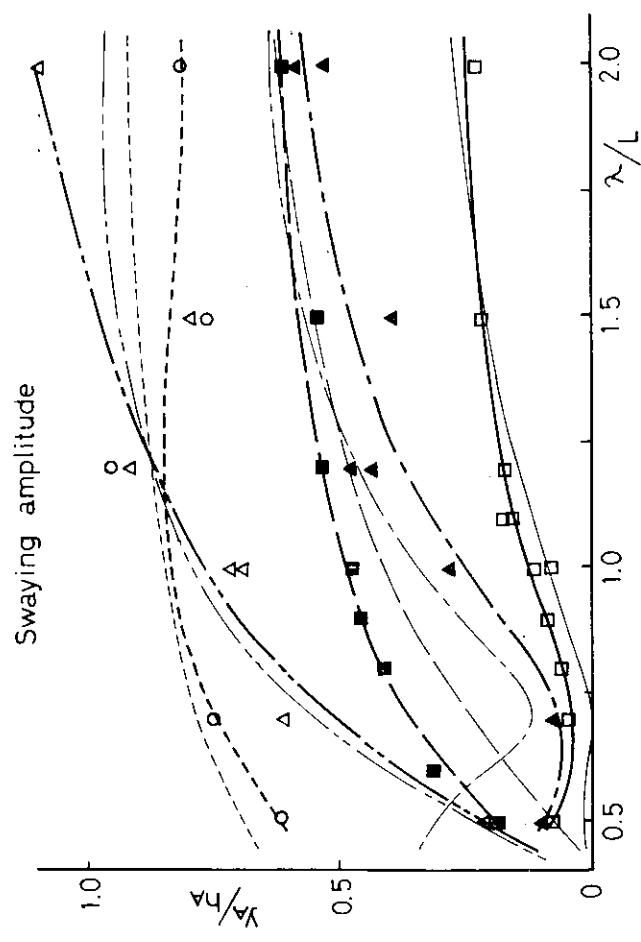


Fig. 3.5.5 Ship motions in oblique waves

SR108 Container Ship

GM=19.7 mm

T = 2.62 sec

F<sub>n</sub> = 0

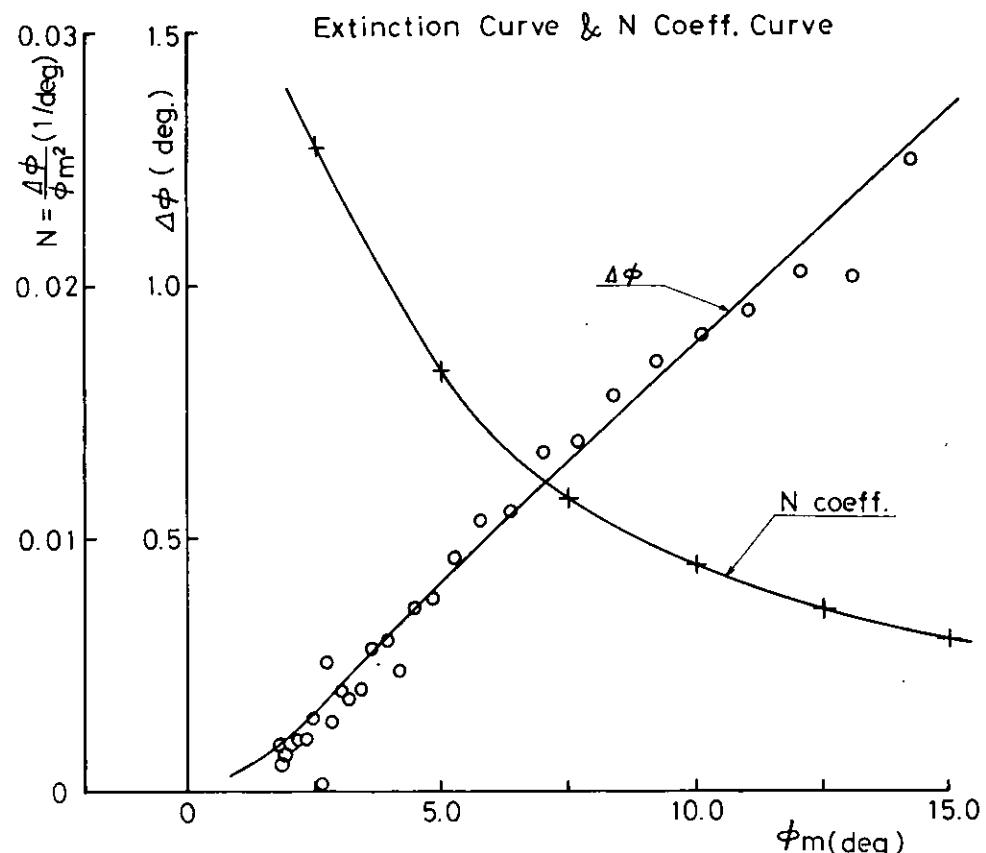


Fig. 3.5.6 Test results of free rolling

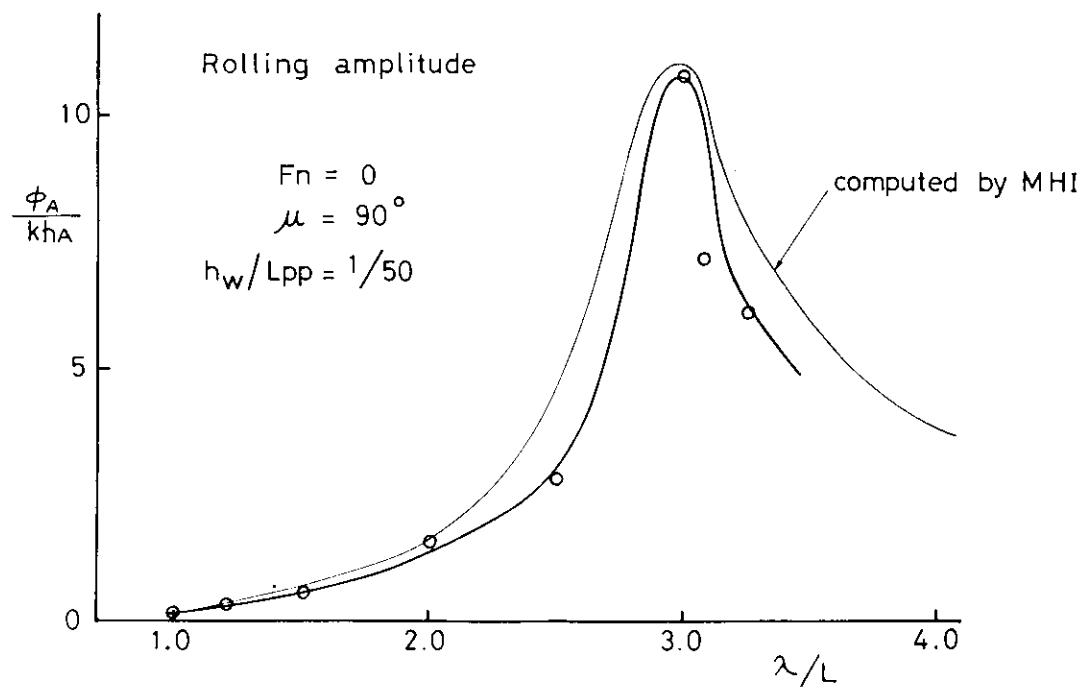


Fig. 3.5.7 Rolling in beam waves

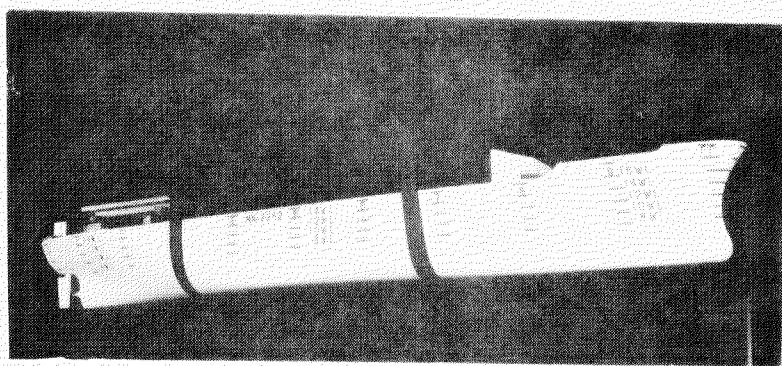


Photo. 3.5.1 Ship model

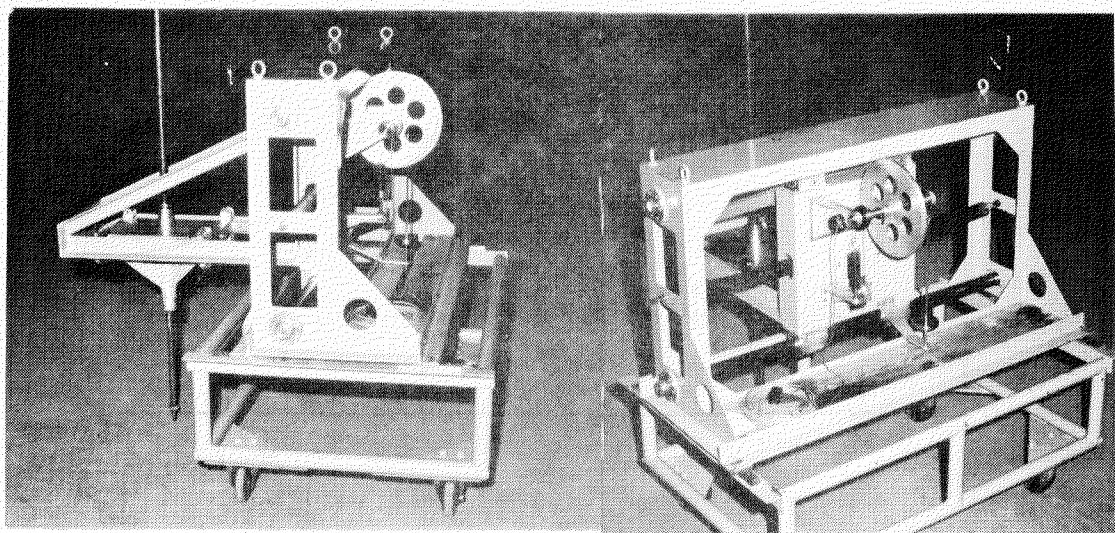


Photo. 3.5.2 Gravity dynamometer

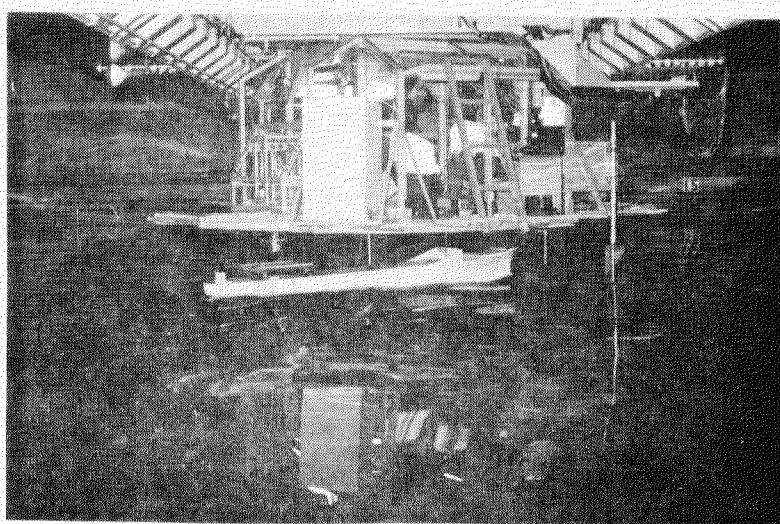


Photo. 3.5.3 Resistance test in oblique waves

### 3.6 波浪中における推進性能に関する実験

#### 3.6.1 はしがき

本年度は、昨年度使用した1軸コンテナ船型 ( $L/B = 6.81$ ,  $C_B = 0.568$ ,  $B/d = 2.83$ ) の4m模型船を使用し、波浪中における推進性能に関する諸実験を昨年度に引き続き実施した<sup>1)</sup>。また波浪中におけるプロペラ単獨特性を調べるため、平水中でプロペラポートを強制動搖させた場合のプロペラ単獨試験及び規則波中でのプロペラ単獨試験等を行なった。

#### 3.6.2 実験の種類

実施した実験は、次の7種類である。

- 1) 正面規則波中航走時におけるDiffraction Forceの計測
- 2) Incident waveの波高減衰の計測
- 3) 不規則波中における抵抗、自航試験
- 4) 平水中強制上下揺プロペラ単獨試験
- 5) 平水中強制前後揺プロペラ単獨試験
- 6) 正面規則波中プロペラ単獨試験
- 7) 没水深度を変えた場合のプロペラ単獨試験

#### 3.6.3 実験方法及び実験結果

##### (1) 正面規則波中航走時におけるDiffraction Forceの計測

1軸コンテナ船模型の上下、左右の運動を拘束し、前後方向のみ自由にした状態でセットし、正面規則波中を航走する場合の前後方向水平力を計測し、平水中の値からの平均増加量を求めた。

試験は、船速を  $F_n = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$  の4種類に選び、波高を  $L/50$  一定とし、波長を  $\lambda/L = 0.5 \sim 2.0$  の範囲に変えて実施した。実験結果を Fig. 3.6.1 に示し、Gerritsmaの方法による計算結果と比較してある。なお図中には、昨年度の実験で求めた上下揺、縦揺、前後揺自由の場合の平均抵抗増加量を曲線で示し、Gerritsmaの方法による計算で、各断面の減衰係数に  $-V \partial_m / \partial_x$  の項を考慮した場合と考慮しない場合との結果を比較のため記入してある。

縦運動を自由にした場合の抵抗増加及び縦運動拘束の diffraction force とも Gerritsma の方法による近似計算でかなりよく推定できることがわかる。

次に  $F_n = 0.20, 0.25$  で、 $\lambda/L = 0.9, 1.5$  の場合について、波高を  $L/100 \sim L/22$  の範囲に変化させて diffraction force の計測を行い、それらの結果を Fig. 3.6.2 に示す。図中には、昨年度実施した縦運動自由の状態で波高を変化させた場合の抵抗増加の実験値も記入してあるが、diffraction force の波高による変化の傾向は、抵抗増加の傾向とほとんど同じであることがわかる。

##### (2) Incident Waveの波高減衰の計測

波浪中におけるプロペラの推力、トルクの変動を考える場合、船尾における入射波の波高減衰を考慮した方が現象をよく説明できるようなので<sup>2)</sup>、入射波が船体を通過する間に波高がどのように減衰してゆくかを計測した。船速は  $F_n = 0, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$  の5種類、入射波の波高は  $L/50$  一定、波長は  $\lambda/L = 0.5 \sim 2.0$  の範囲で5種類に変化させた。船体運動を拘束し波高計を船側に沿って移動させながら船長方向各点の波高 ( $\zeta_w$ ) を計測した。計測結果は Fig. 3.6.3 に入射波の波高 ( $\zeta_w$ ) との比の形で示してある。

また船尾 (A.P. より 26 cm 後方) における計測波高と入射波の波高との比を出会い円周波数  $\omega_e$  ベースに示すと Fig. 3.6.4 のとおりで、 $\omega_e$  の大きいほど波高減衰が著しいことがわかる。

##### (3) 不規則波中における抵抗、自航試験

実験に使用した不規則波は有義波高を一定に保ち平均波周期を4種変えたもの及び平均波周期を一定にして有義波

高を 5 種変えたものである。このような不規則波中で抵抗試験及び自航試験を行ない、船体運動、平均抵抗増加及びプロペラの推力、トルク、回転数の平均増加を求めた。速度は  $F_n = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$  の 4 種について実施したが、ここでは  $F_n = 0.15$  の場合についてのみ結果を示す。

Fig. 3.6.5 は縦搖、上下搖の有義振幅を有義波高で割った値を示している。同時に規則波中の実験から得られた縦搖、上下搖の応答関数と実験に使用した不規則波の波スペクトラムから線形重ね合わせ理論により推定した値を比較のため示してある。実験値と推定値との一致はかなりよい。

Fig. 3.6.6 及び Fig. 3.6.7 は、不規則波中抵抗試験で得られた平均抵抗増加及び不規則波中自航試験で求められたプロペラの推力増加、トルク増加、回転数増加をそれぞれ有義波高の 2 乗で割った値で示し、有義波高及び平均波周期に対する変化を図示したものである。

規則波中の抵抗試験及び自航試験で得られた、それぞれの応答関数を用いた推定値も図中に示されている。これらの推定値と実験値との一致の程度は縦搖、上下搖の場合ほどよくない。

Fig. 3.6.8 は、不規則波中の実験におけるプロペラの推力、トルク、回転数の変動の有義波高で割った形で、有義波高及び平均波周期に対する変化を示したものである。

また、Fig. 3.6.9 には、与えられた波スペクトラムの中でのプロペラの推力変動スペクトラムを実験値よりスペクトル解析により求めたものと、計算で推定した結果との比較を、全推力に対する推力の変動率のスペクトラムとして示してある。

計算による推定では、O.S.M.による縦搖、上下搖の値と、流体力として Froude-Krill off force のみを考慮して求めた前後搖の計算値を用い、プロペラ中心における前後方向流速変動のスペクトラム表示を求め、それを用いてプロペラ単獨特性から求めたものと、Sears の非定常二次元翼理論<sup>9)</sup>から導いた推力変動の応答関数<sup>10)</sup>を用いて求めたものとの両方を示している。

また、波浪中におけるプロペラの推力、トルクの変動を扱う場合、入射波が船体により攪乱され、船尾で波高が減衰することを考慮すると現象がよく説明されることが示されているが、これを簡単に波高の減衰比が  $\lambda/L$  に対して直線的に変化すると仮定して計算に考慮した結果も併記してある。

Sears の方法による応答関数を用いた場合は、変動率のような比の形にすると比較的実験値と合うが、変動量だけをとると過大な値を与える。それに対して、プロペラ単獨特性から計算する方法は、変動率だけでなく変動量にしても実験値とよく一致し、更に船尾における波高減衰を考慮すれば一致の程度が一層よくなることがわかる。

なお、以上の計算において平均回転数及び平均伴流係数は実験結果を用いている。

#### (4) 平水中強制上下搖プロペラ単獨試験

プロペラポートを、両振幅 8 cm、動搖周波数を 4 種に変えて強制上下搖させて行なったプロペラ単獨試験の結果を Fig. 3.6.10 に示す。この場合プロペラポートの造る波がプロペラポートより前方に伝播しないように速度及び回転数を選んで前進常数  $J$  を所定の値に合わせた。Fig. 3.6.10 より強制上下搖させても、プロペラの推力、トルクの平均値は平水中固定試験時の値と変わらないことがわかる。また、推力、トルクの変動はほとんどないことが実験より得られた。

#### (5) 平水中強制前後搖プロペラ単獨試験

強制上下搖プロペラ単獨試験と同じ 4 種の周波数について、両振幅 4 cm の強制前後搖をプロペラポートに与えたプロペラ単獨試験の結果得られたプロペラの平均推力及びトルクを Fig. 3.6.11 に示す。推力、トルクの平均値は、平水中のプロペラ単獨特性と変わらないことがわかる。

この試験の場合の推力、トルクの変動を  $\Delta k_t, \Delta k_q$  の形で  $J$  に対して示すと Fig. 3.6.12 のとおりである。プロペラの推力、トルク変動と、流入速度、回転数の変動との関係を一次結合で表現し、その係数（プロペラマトリックス）をプロペラ単獨特性から求めることにより推定した値が図中に曲線で示されており、実験値とかなりよく一致

することがわかる。

プロペラの推力、トルク変動を  $\Delta k_t/k_t$ ,  $\Delta k_q/k_q$  の変動率の形で示すと Fig. 3.6.13 のとおりである。図中の計算曲線は上記プロペラマトリックスによる方法と Sears の方法によるものとが示されている。この表示の場合もプロペラマトリックスによる計算値は実験値と非常によく一致している。

#### (6) 正面規則波中プロペラ単独試験

正面規則波中でプロペラボートを固定してプロペラ単独試験を実施した。強制上下揺、前後揺の試験時の 4 種の周波数に合わせるために、J の値に応じて波の周波数を変え、出会い周波数が所定の周波数に合うようにした。

実験で得られたプロペラの推力、トルクの平均値を Fig. 3.6.14 に示すが、この場合も平水中プロペラ単獨特性と変わらない。

推力、トルク変動のアナログ記録から 0.2 秒おきの  $k_t$ ,  $k_q$ ,  $\eta_0$  を求めたのが Fig. 3.6.15 であり、図中点線で示してある平水中の単獨特性より求めた線上とほとんど同じように変化することがわかる。

この場合の推力、トルク変動の両振幅を  $\Delta k_t$ ,  $\Delta k_q$  の形で Fig. 3.6.16 に示す。規則波の orbital velocity を用い、平水中プロペラ単獨特性から求めた計算値を、実験の際に計測された回転数変動を考慮した場合と考慮しない場合について図中に示してある。

Fig. 3.6.17 は推力、トルク変動の両振幅と波浪中における推力、トルクの平均値との比を  $\Delta k_t/k_t$ ,  $\Delta k_q/k_q$  の形で示したもので、図中の計算値は Sears の方法を使って計算した結果で、回転数変動を考慮した場合と考慮しない場合との両者が示されている。Sears の方法による計算では  $\Delta k_t/k_t$  と  $\Delta k_q/k_q$  とは等しくなるが、実験値は多少異なっている。

以上の計算に使用した回転数の変動率の実験値は Fig. 3.6.18 のとおりである。

また、規則波中でプロペラボートを強制上下揺させた実験も行なったが、推力、トルクの平均値は平水中の値と変らず、変動値は規則波中を固定で行なった場合とほとんど変りなかった。

#### (7) 没水深度を変えた場合のプロペラ単独試験

プロペラの没水深度を  $I/R = 1.53, 1.40, 1.20, 1.00, 0.50$  ( $I$  = 水面からプロペラ中心までの深さ,  $R$  = プロペラ半径) の 5 種類変化させた状態でのプロペラ単独試験結果を Fig. 3.6.19 に示す。

$I/R = 1.40$  までは没水深度が深い場合の結果と変わらないが、 $I/R = 1.20$  になると J の小さい所で  $k_t$ ,  $k_q$  が減少し、 $I/R$  が更に小さくなるとそれが激しくなる。 $I/R = 1.0$  になるとプロペラ特性は完全に違つるものになっている。これらの関係を  $I/R$  を横軸にとり、J をパラメータにして、 $k_t$ ,  $k_q$  の形で示すと Fig. 3.6.20 のようになる。

次に、 $I/R = 1.53, 1.0$  の状態で、両振幅 8 cm の上下揺をさせた場合の推力、トルクの変動を示したのが Fig. 3.6.21 である。図中に示すプロペラ単獨特性から求めた計算値は、上記 Fig. 3.6.20 を使用し、 $I/R$  が静的に変化するものとして求めた結果である。

以上の実験で、J を所定の値に合わせる場合、速度 V を 0.9 m/sec の一定にして J を合わせた場合と、回転数 N を 10 rps の一定にして J を合わせた場合との両者があるが、この両者の実験方法で推力、トルクの変動には若干の差があるようである。

#### 参考文献

- 1) SR125 研究部会：超高速コンテナ船の耐航性に関する研究報告書、日本造船研究協会研究資料 No.188、昭和 49 年 3 月、p.55
- 2) 中村彰一、細田龍介、内藤林：コンテナ船の波浪中推進性能に関する研究（第 3 報）、関西造船協会春季講演会、昭和 49 年 5 月

- 3) W.R. Sears : Some Aspects of Nonstationary Airfoil Theory and its Practical Application, Jour. Aero Sci., vol. 8, №3, 1941
- 4) 池畠光尚, 湯浅 雄: 模型船後流乱れとプロペラへの影響, 日本造船学会論文集, 第130号, 昭和46年12月, p 63
- 5) 湯浅 雄: 斜波中の船体運動によるプロペラ負荷変動の算定(その1), 日本造船学会論文集, 第136号, 昭和49年12月, p 69

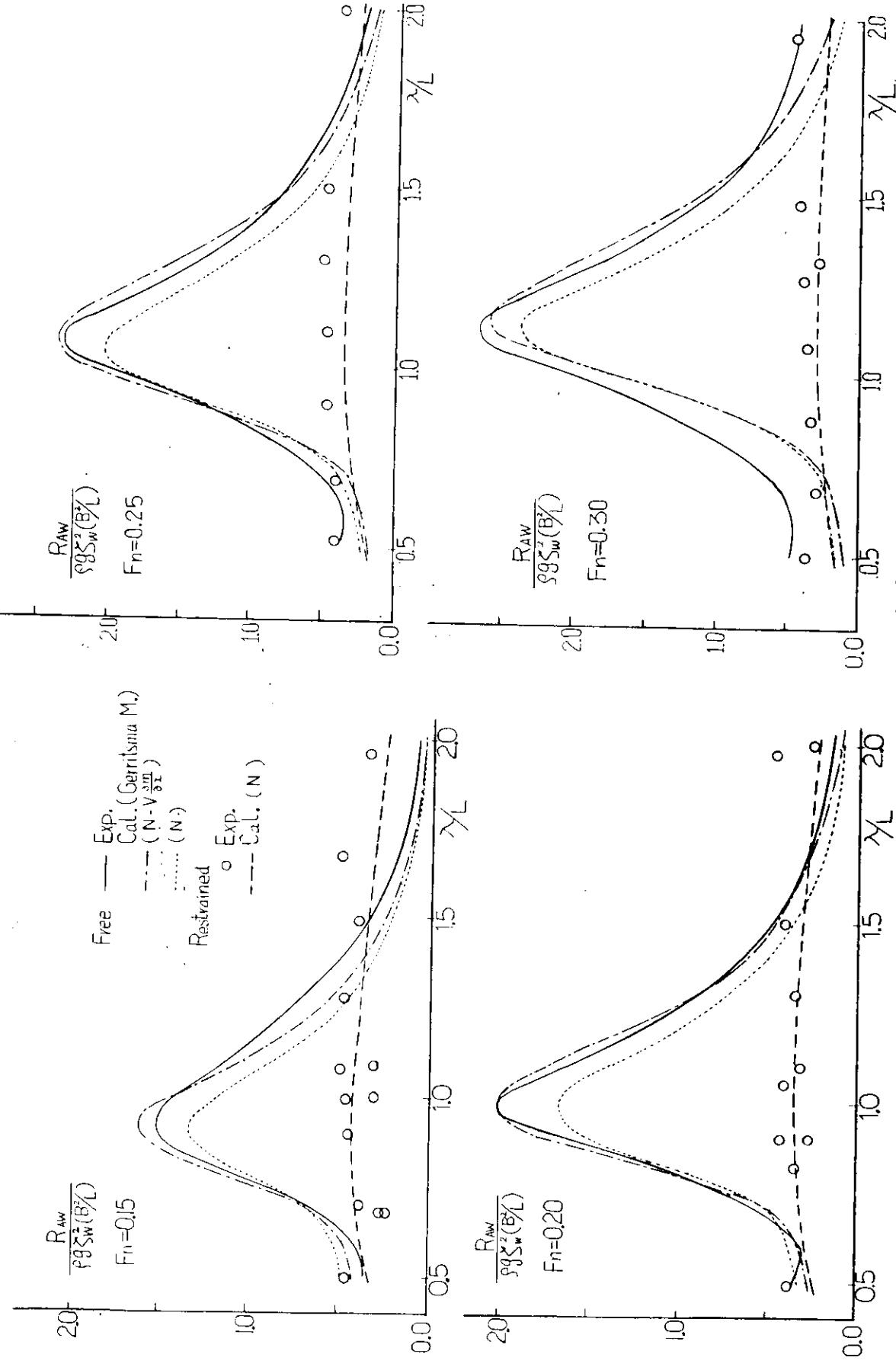


Fig. 3.6.1 正面規則波中抵抗増加係数（船体運動自由及び拘束）

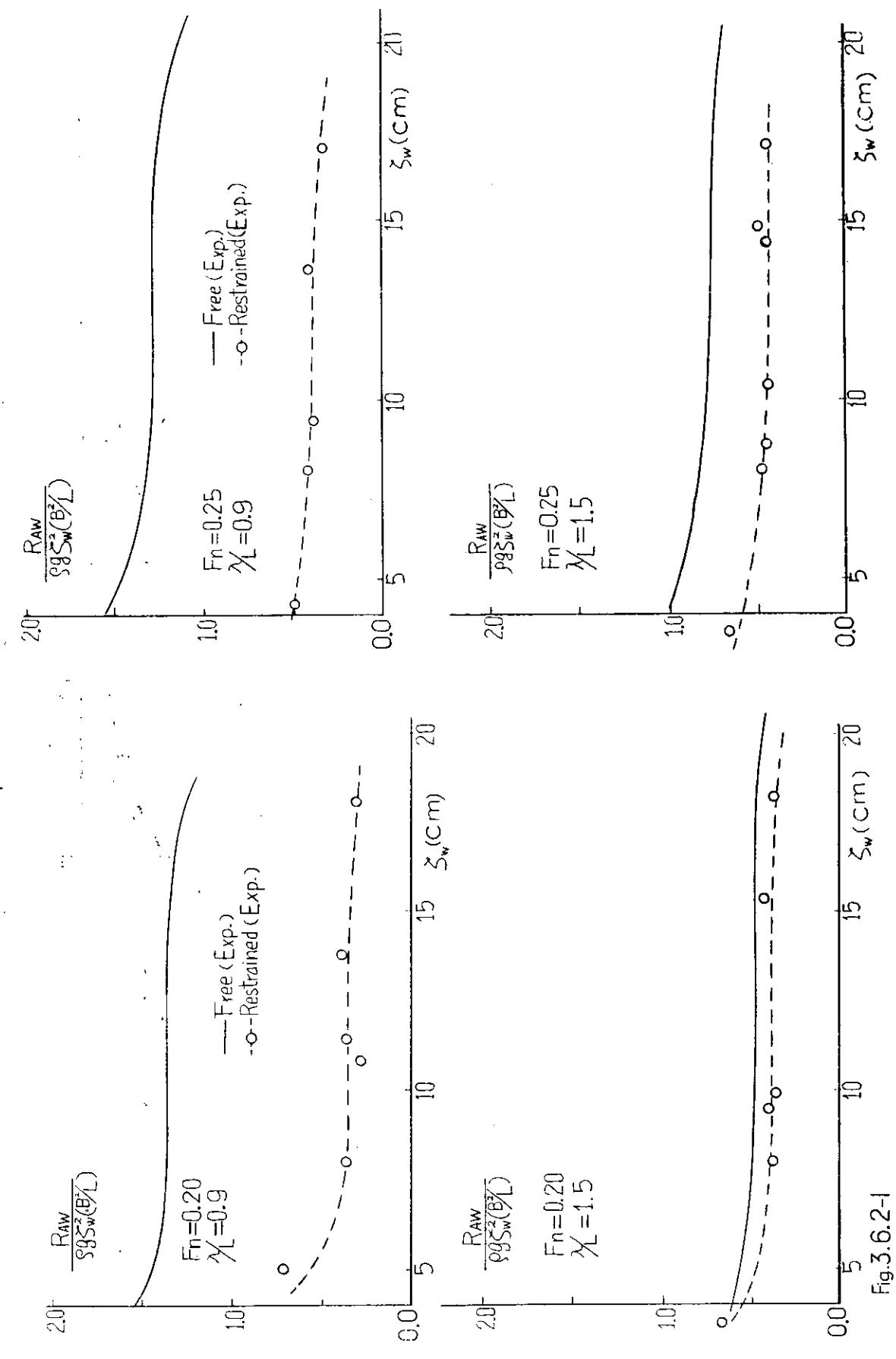


Fig. 3.6.2 正面規則波中抵抗増加係数に対する波高影響

Fig.3.6.2-I

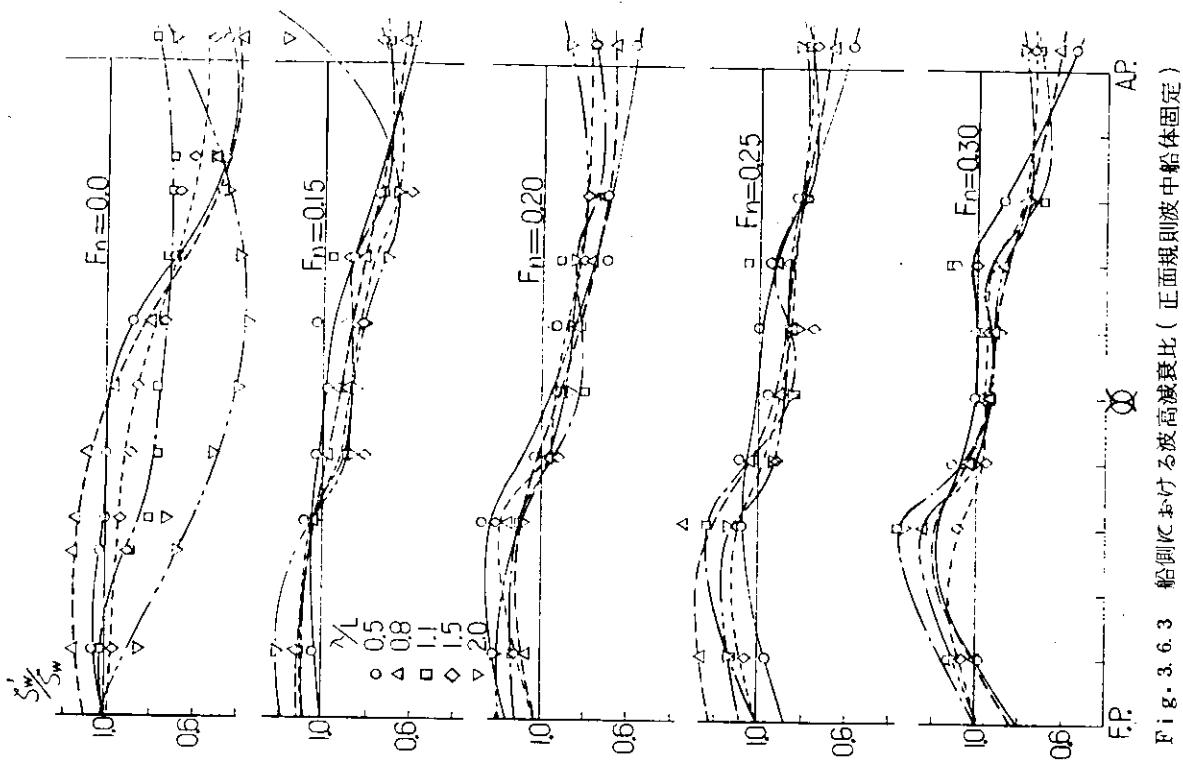


Fig. 3.6.3 船側における波高減衰比（正面規則波中船体固定）

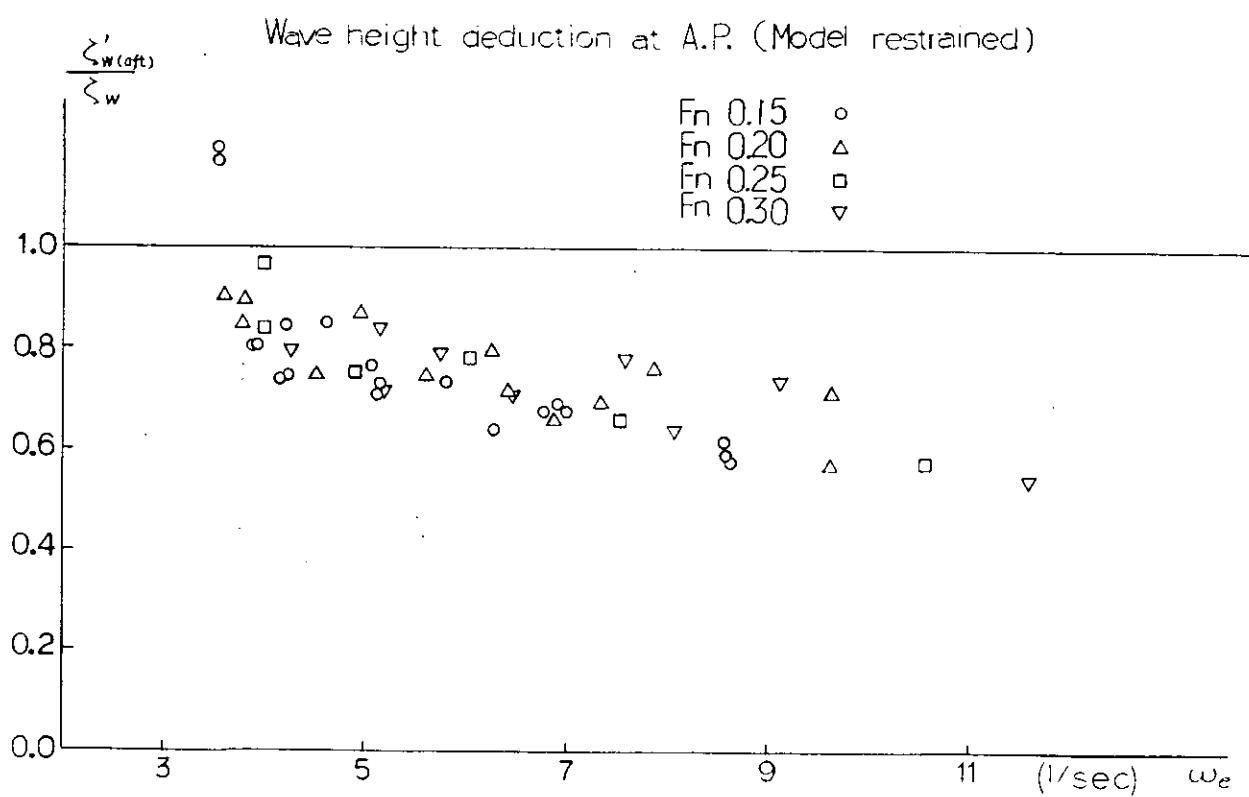


Fig. 3.6.4 船尾における波高減衰比（正面規則波中船体固定）

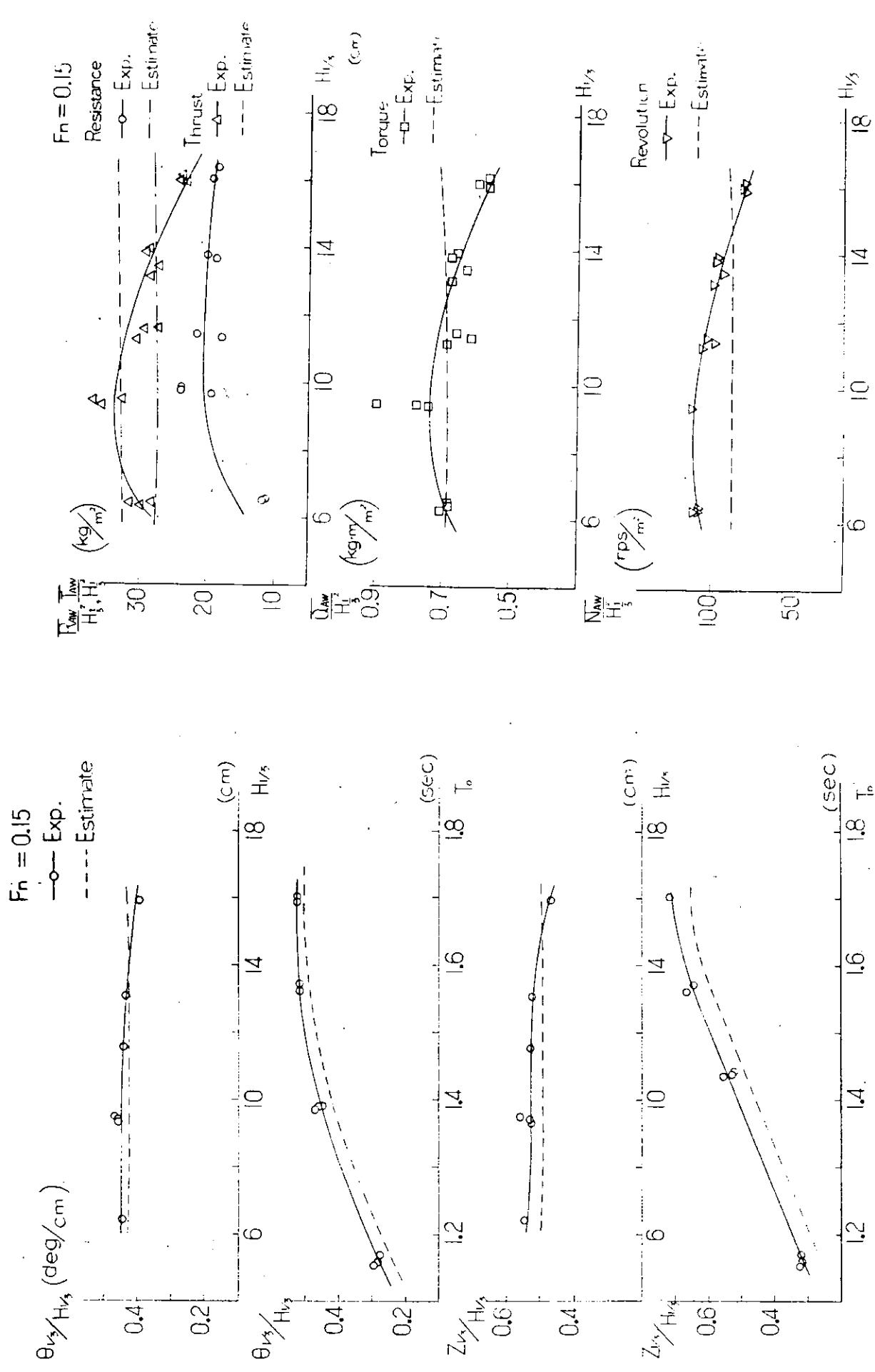


Fig. 3.6.5 正面不規則波中上下搖，縱搖

Fig. 3.6.6 正面不規則波中抵抗，推力，下搖，回轉數增加(波高影響)

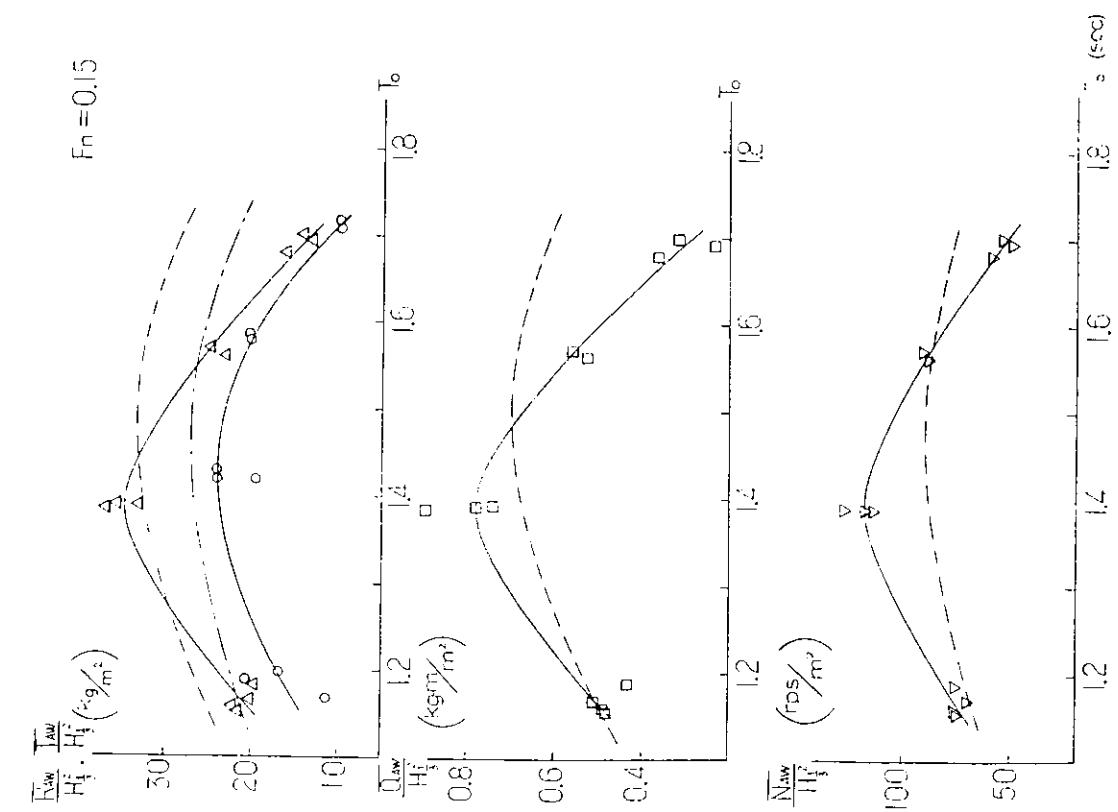


Fig. 3.6.7 正面不規則波中抵抗、推力、トルク、回転数增加  
(波周期影響)

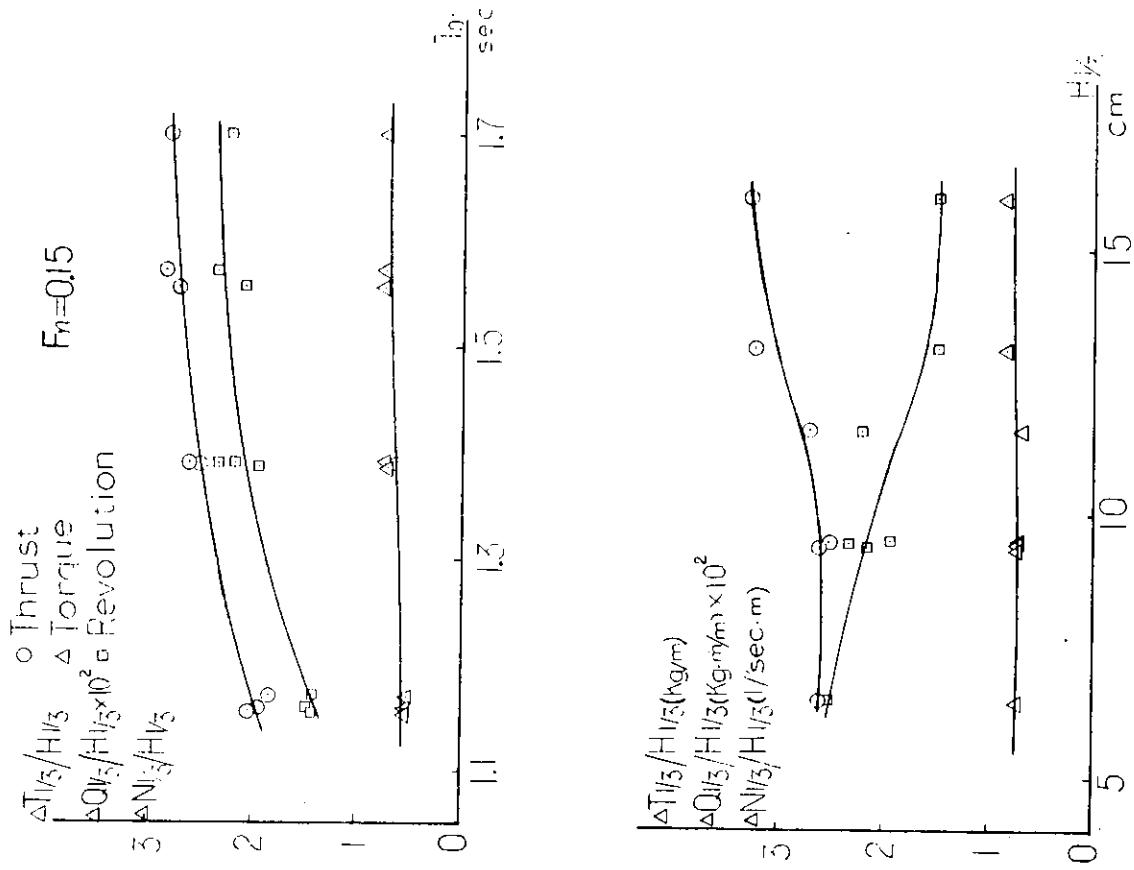


Fig. 3.6.8 正面不規則波中推力、トルク、回転数変動

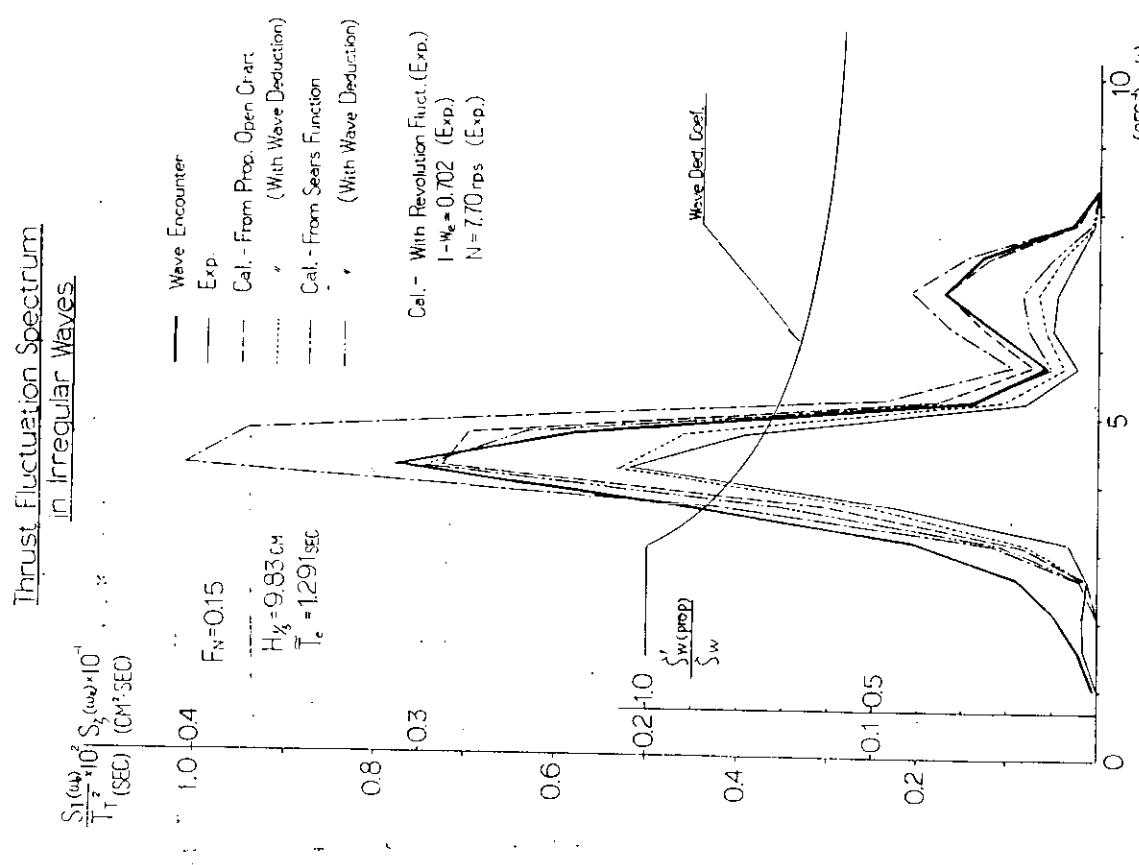


Fig. 3.6.9 正面不規則波中推力変動のスペクトラム

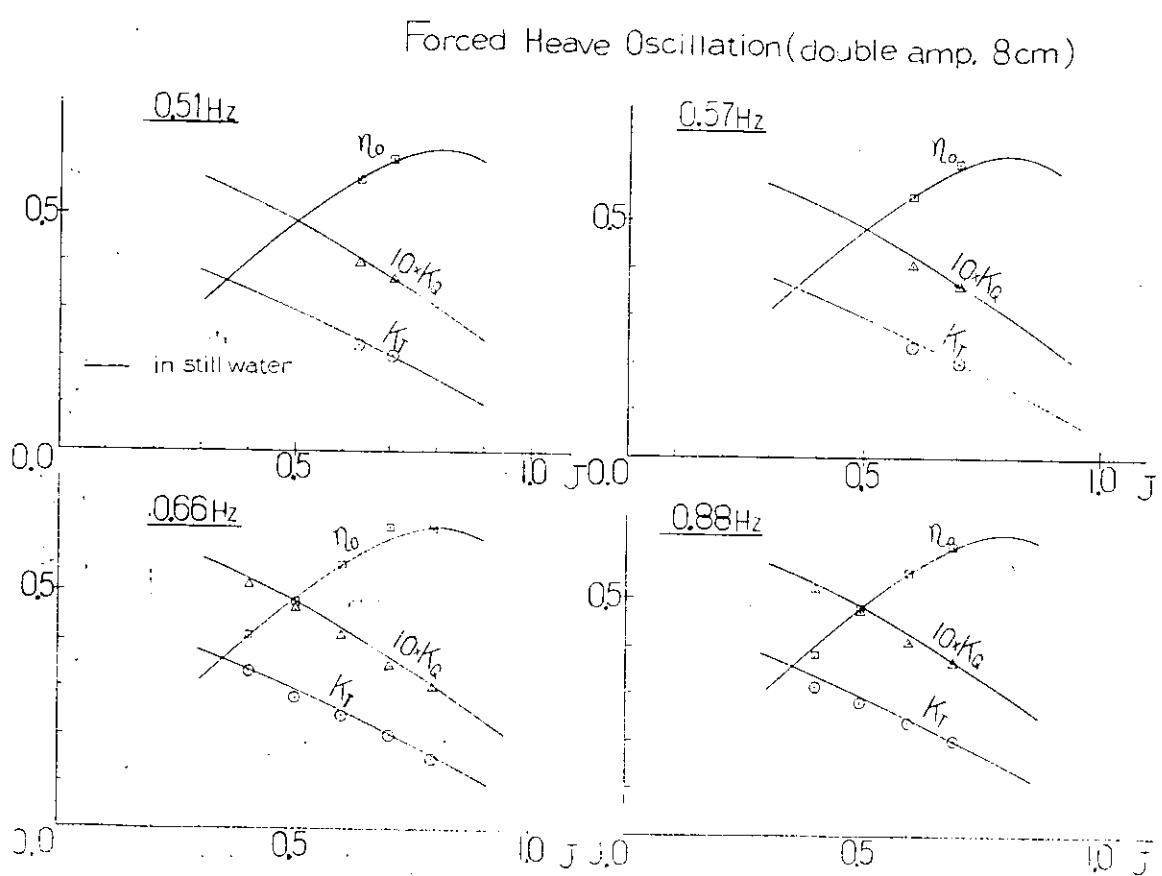


Fig. 3.6.10 強制上下揺プロペラ単独試験結果(平均値)

### Forced Surge oscillation ( double amp. 4 cm )

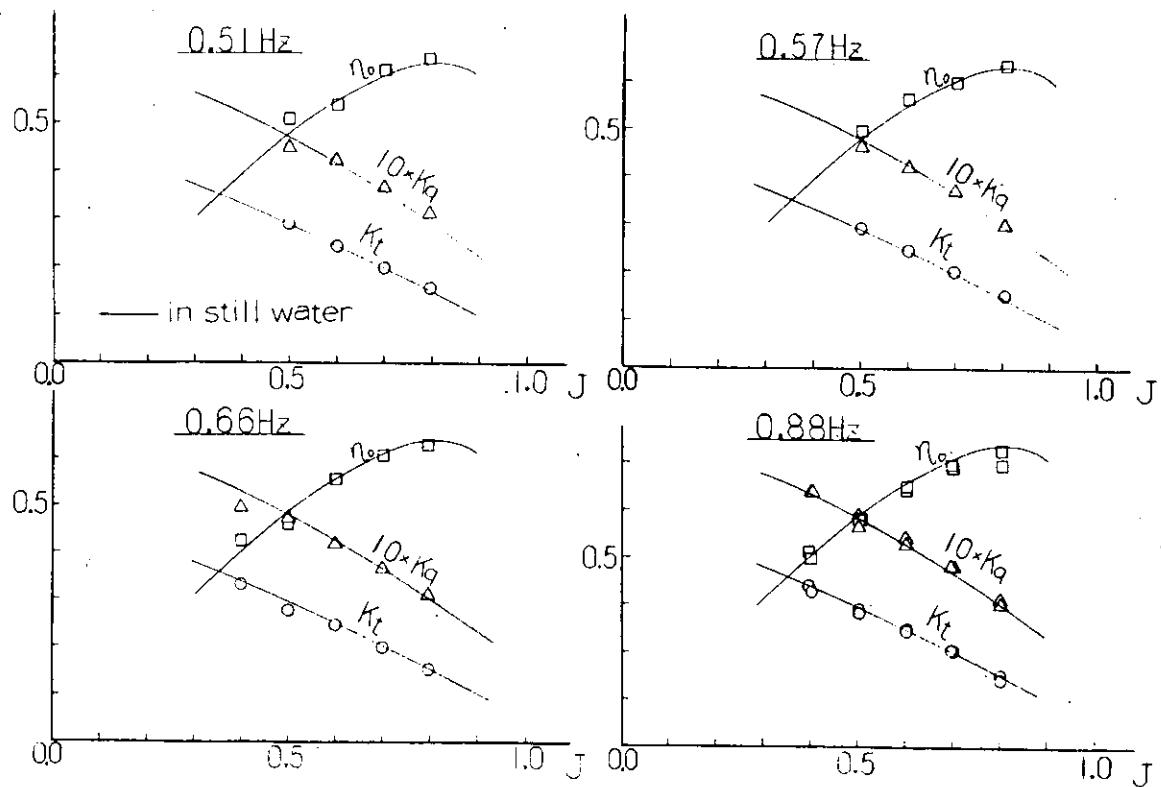


Fig. 3.6.11 強制前後揺プロペラ単独試験結果(平均値)

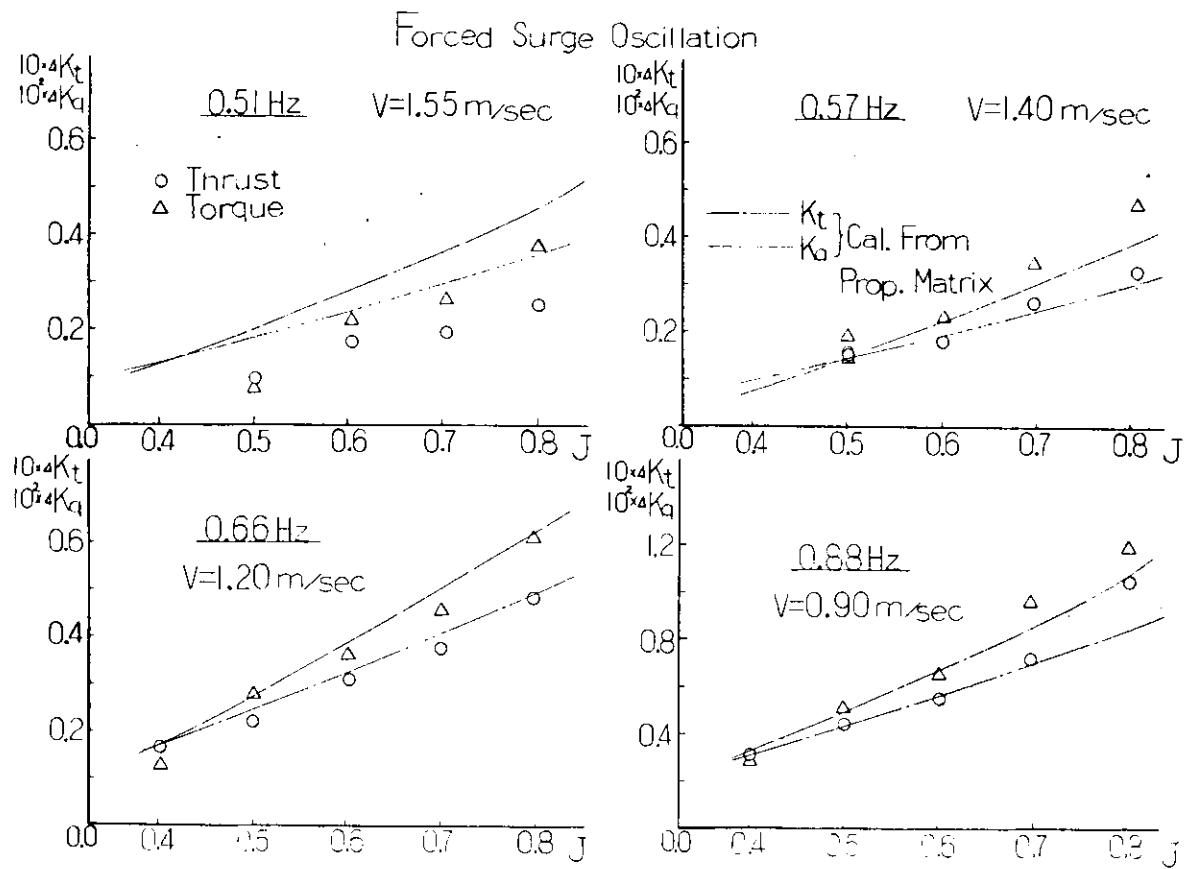


Fig. 3.6.12 強制前後揺プロペラ単独試験時の推力、トルク変動

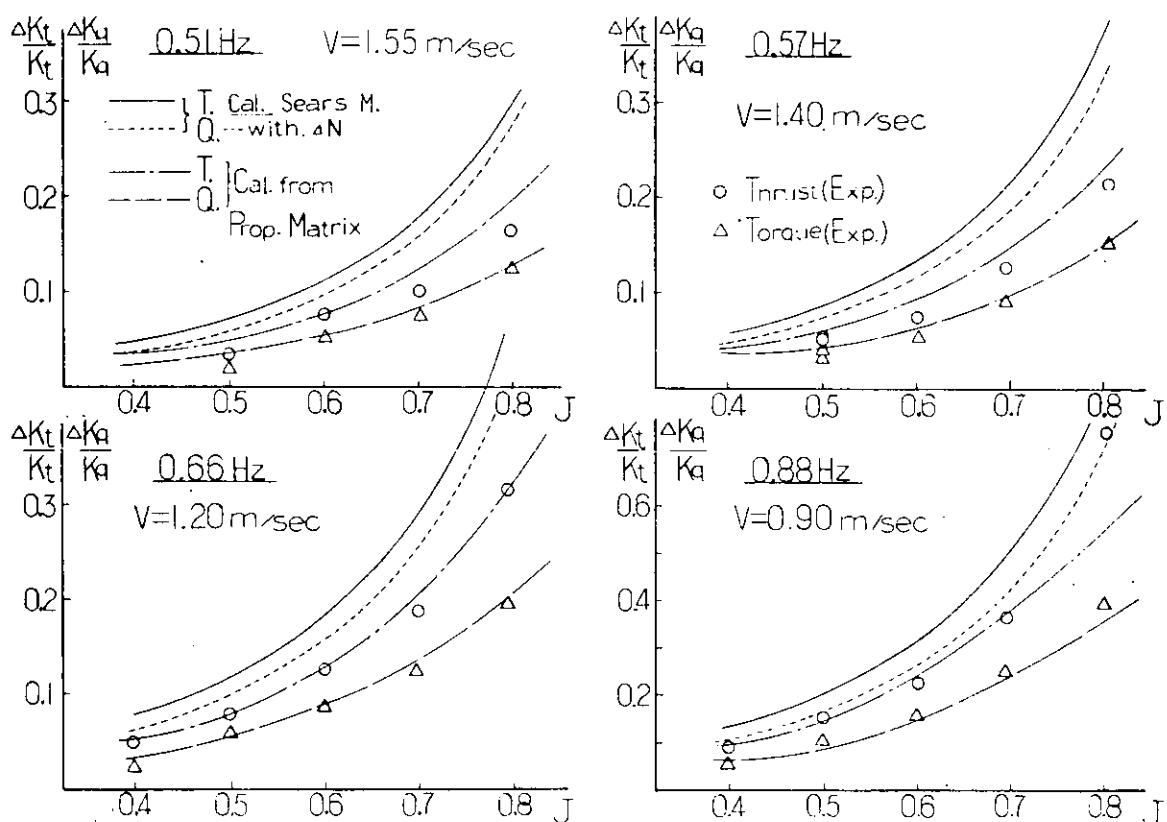


Fig. 3.6.13 強制前後揺プロペラ単独試験時の推力、トルク変動率

#### in Regular Head Waves (Mean Value)

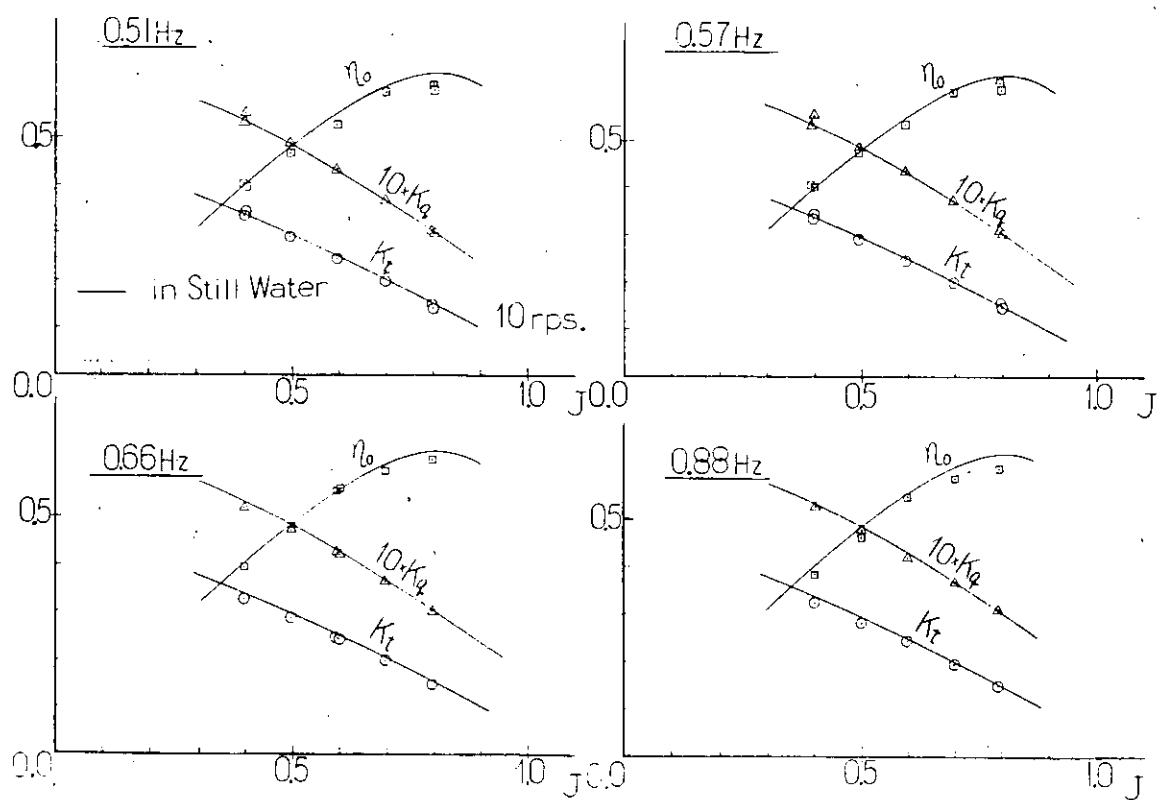


Fig. 3.6.14 正面規則波中プロペラ単独試験結果(平均値)

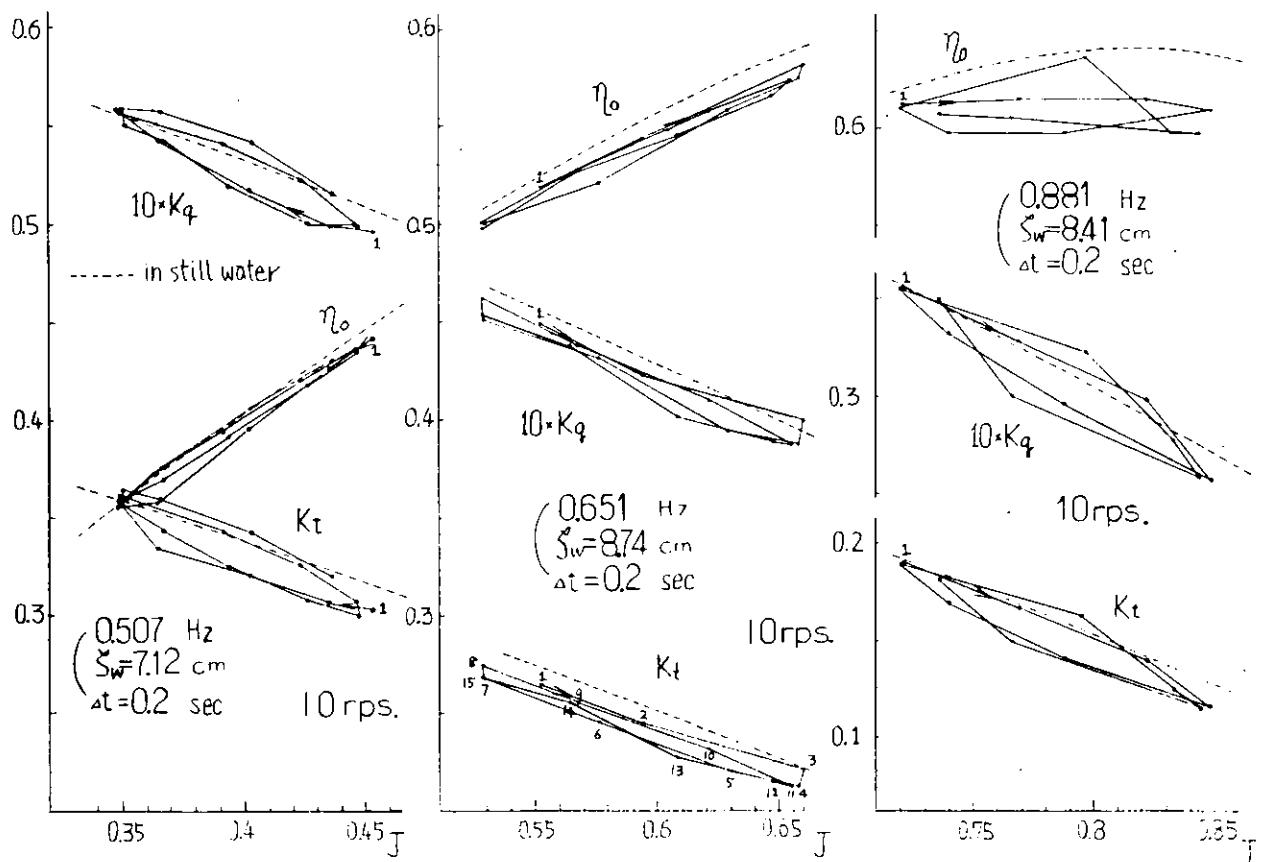


Fig. 3.6.15 正面規則波中プロペラ単独試験時の推力、トルク瞬時値

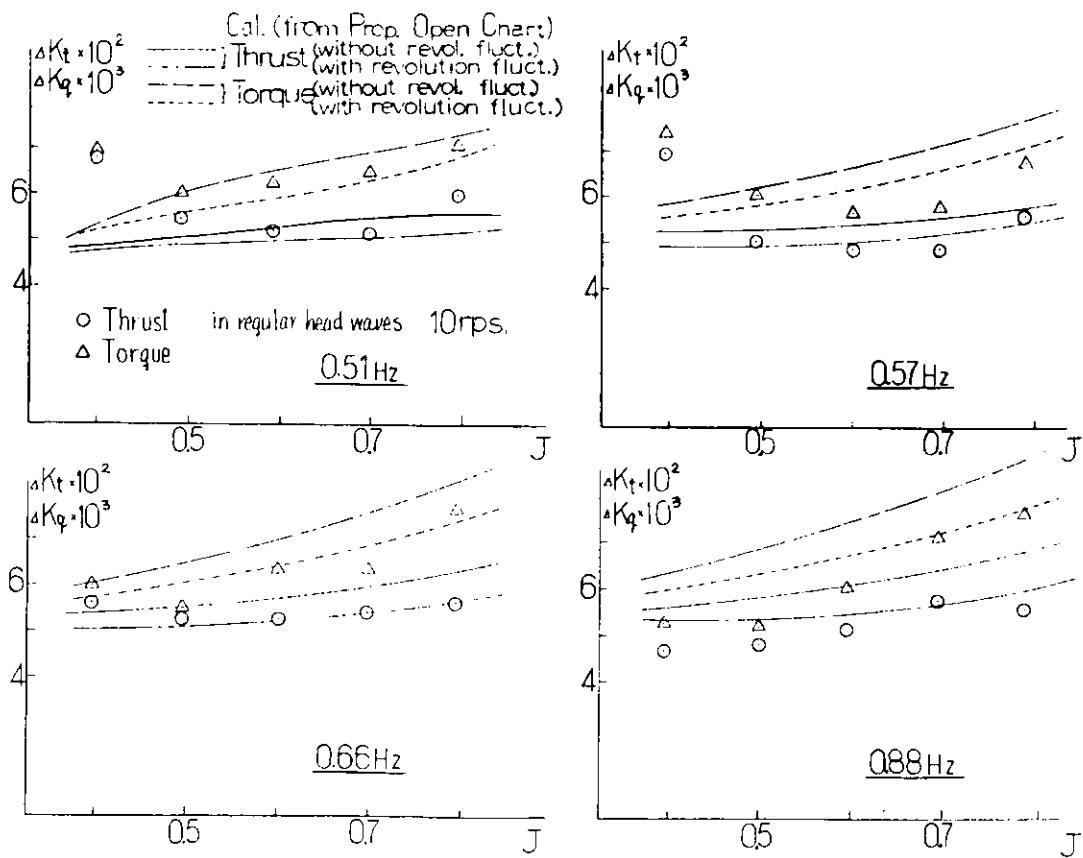


Fig. 3.6.16 正面規則波中プロペラ単独試験時の推力、トルク変動

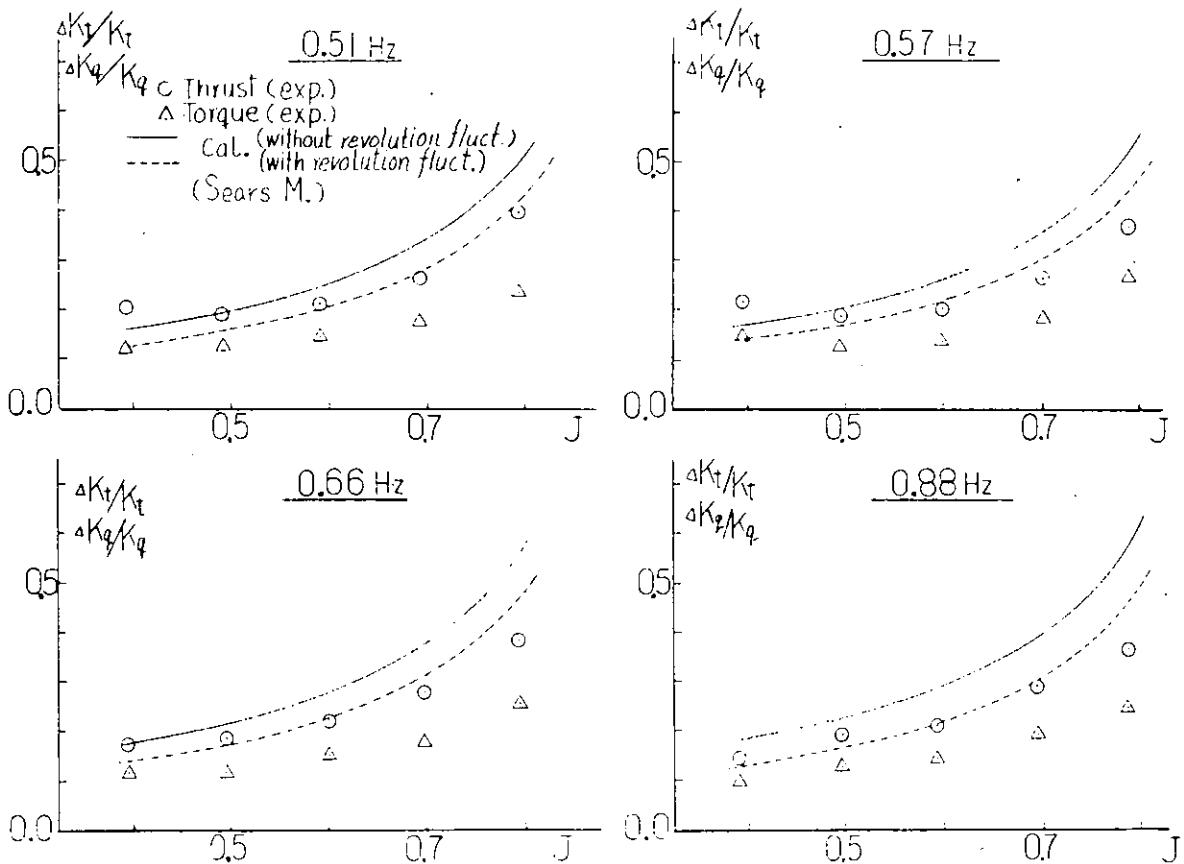


Fig. 3.6.17 正面規則波中プロペラ単独試験時の推力、トルク変動率

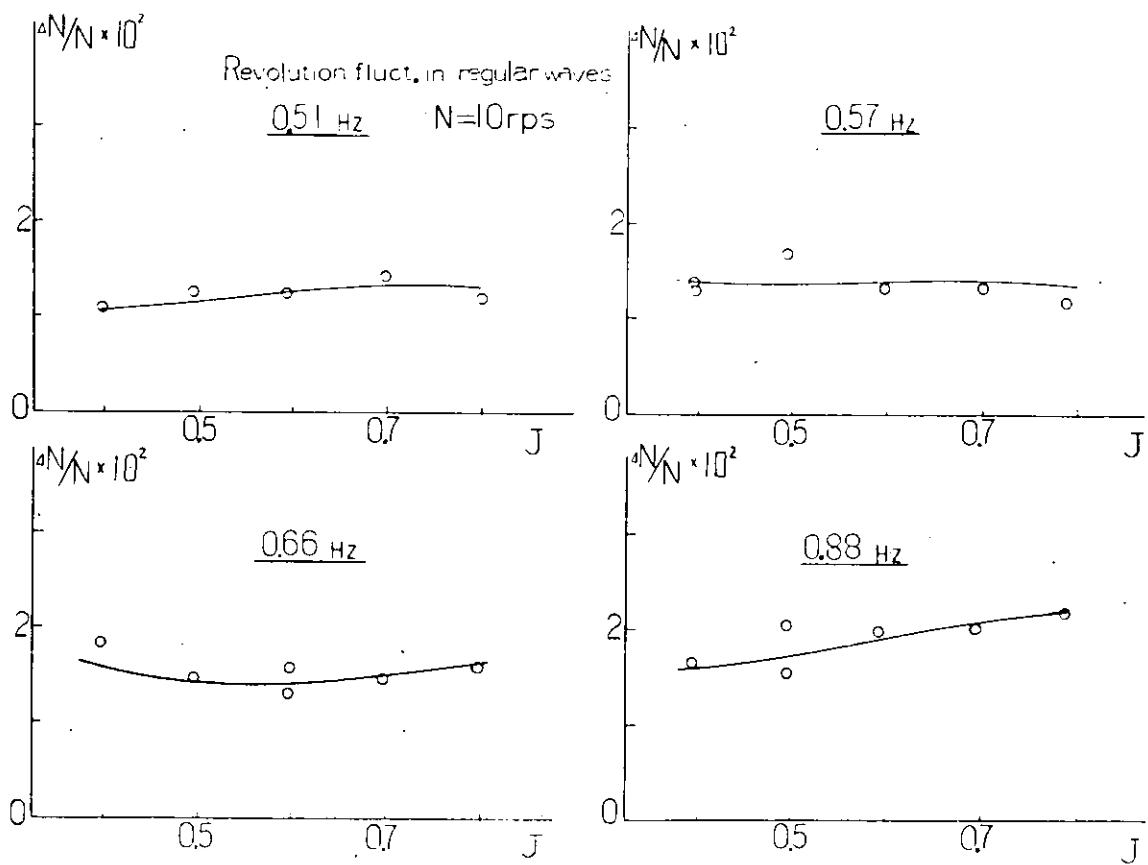


Fig. 3.6.18 正面規則波中プロペラ単独試験時の回転数変動率

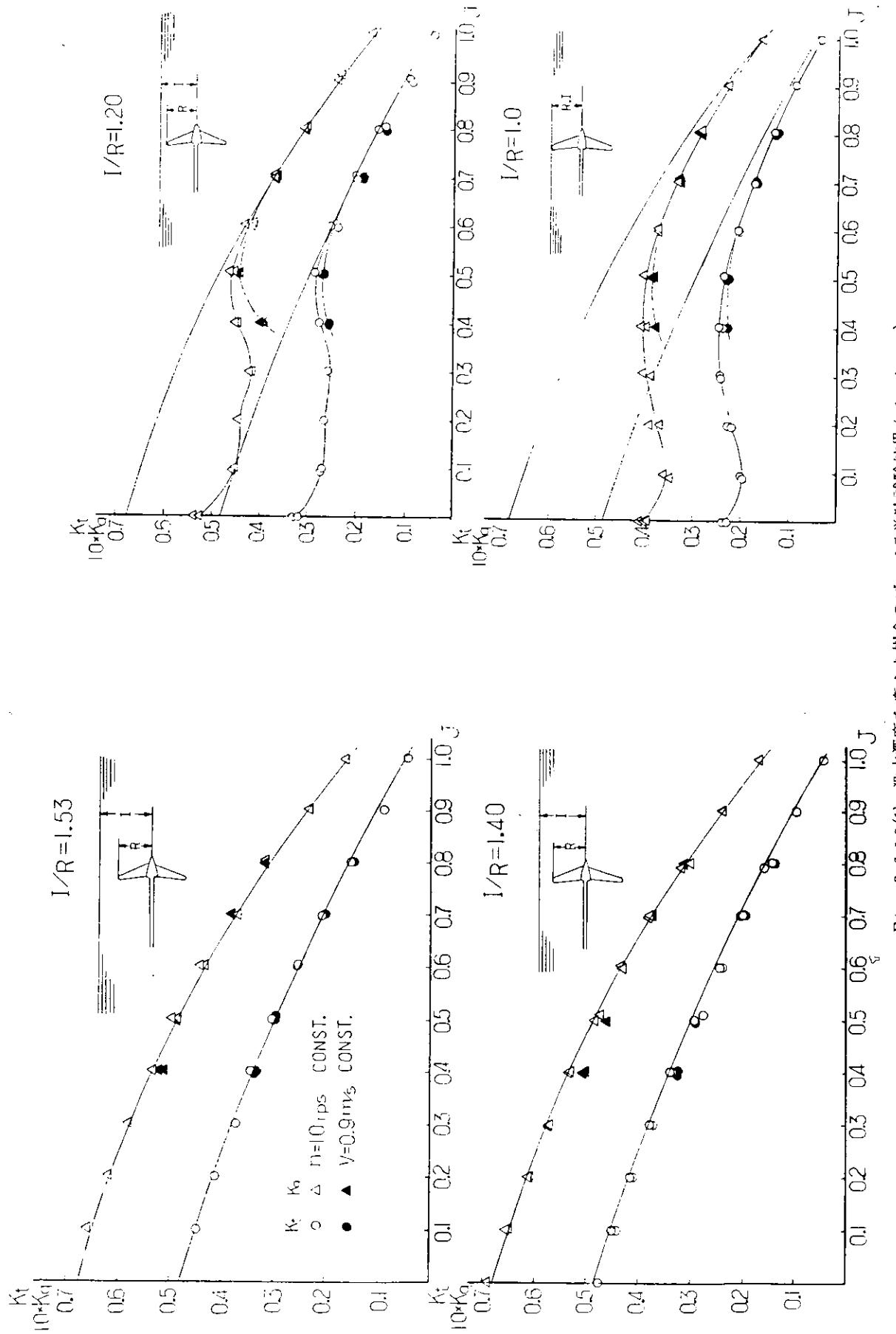


Fig. 3.6.19 (1) 浸水深度をえた場合のプロペラ単純試験結果 (J-ベース)

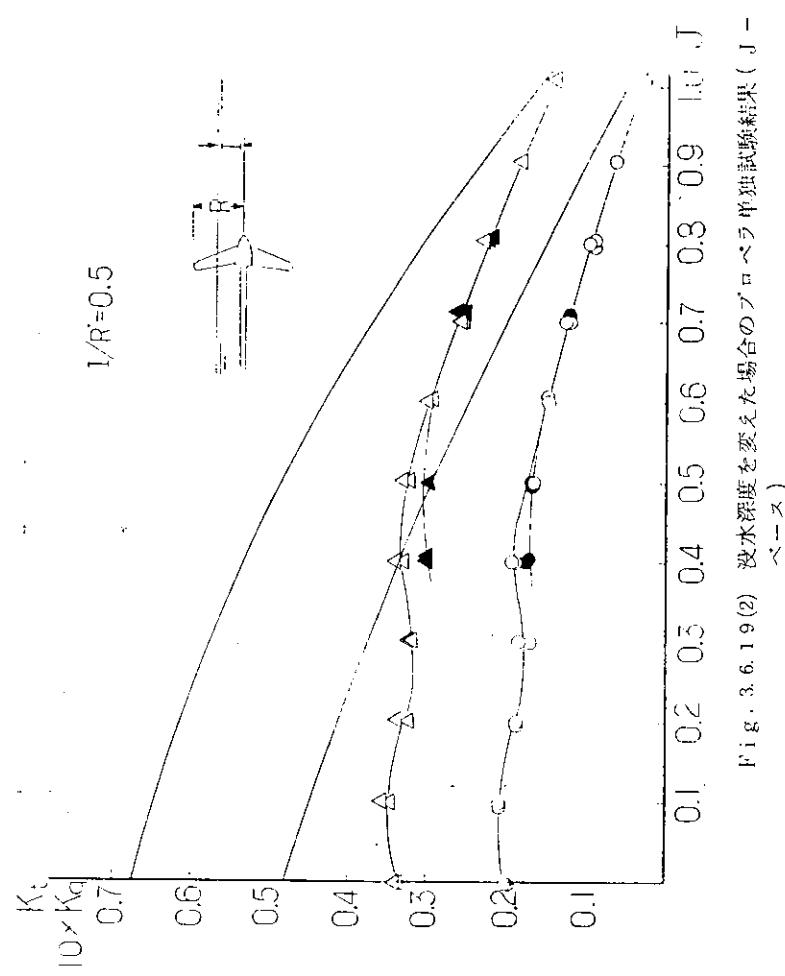


Fig. 3.6.19(2) 浸水深度を変えた場合のプロペラ単純試験結果 (J - ベース)

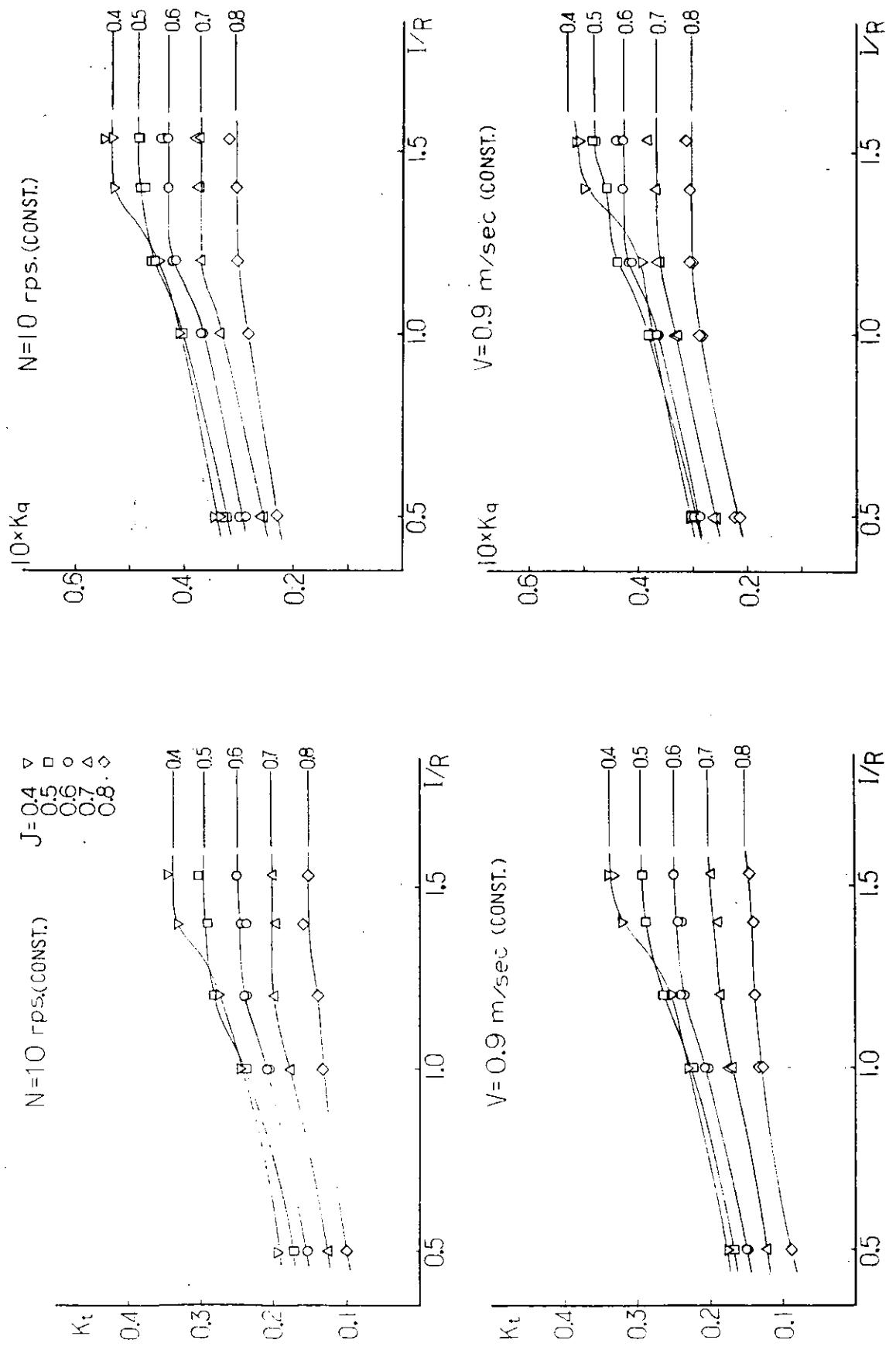


Fig. 3.6.20 浸水深度を変えた場合のプロペラ単独試験結果（浸水深度ベース）

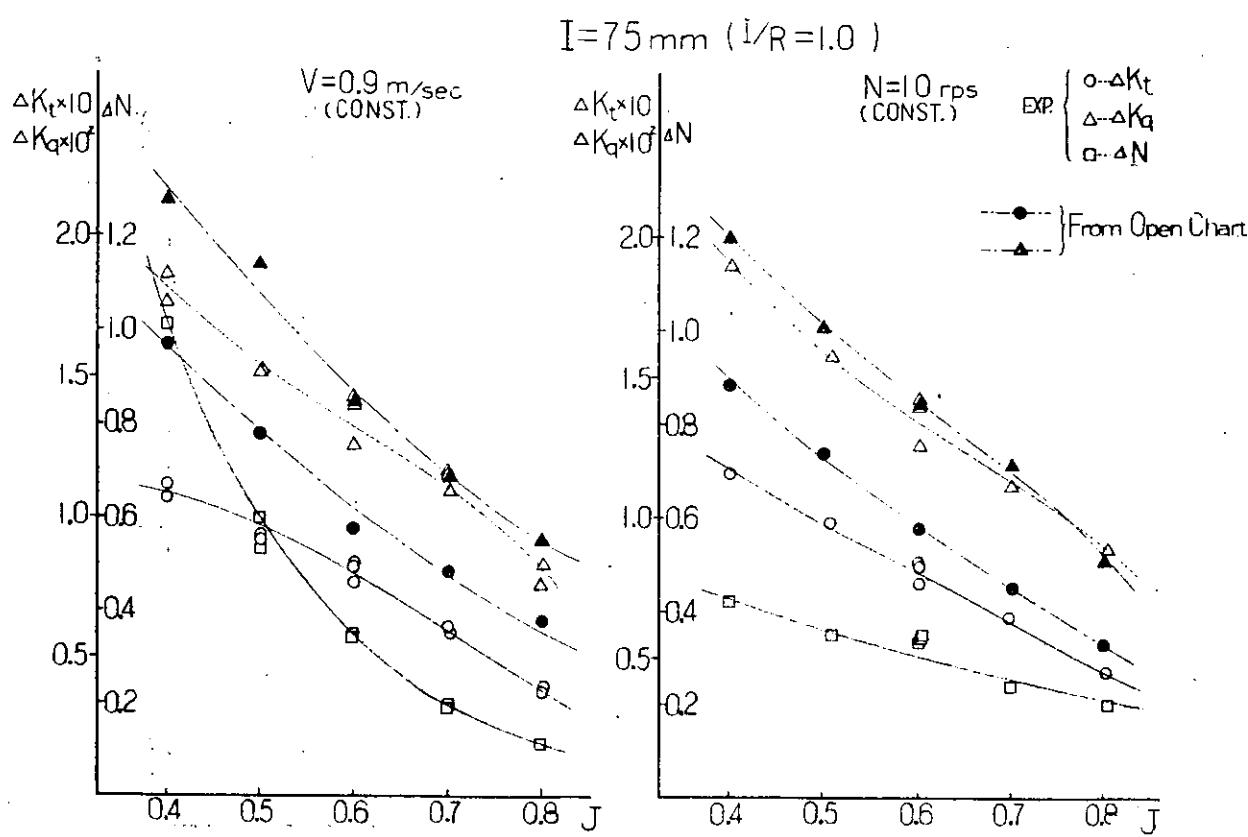
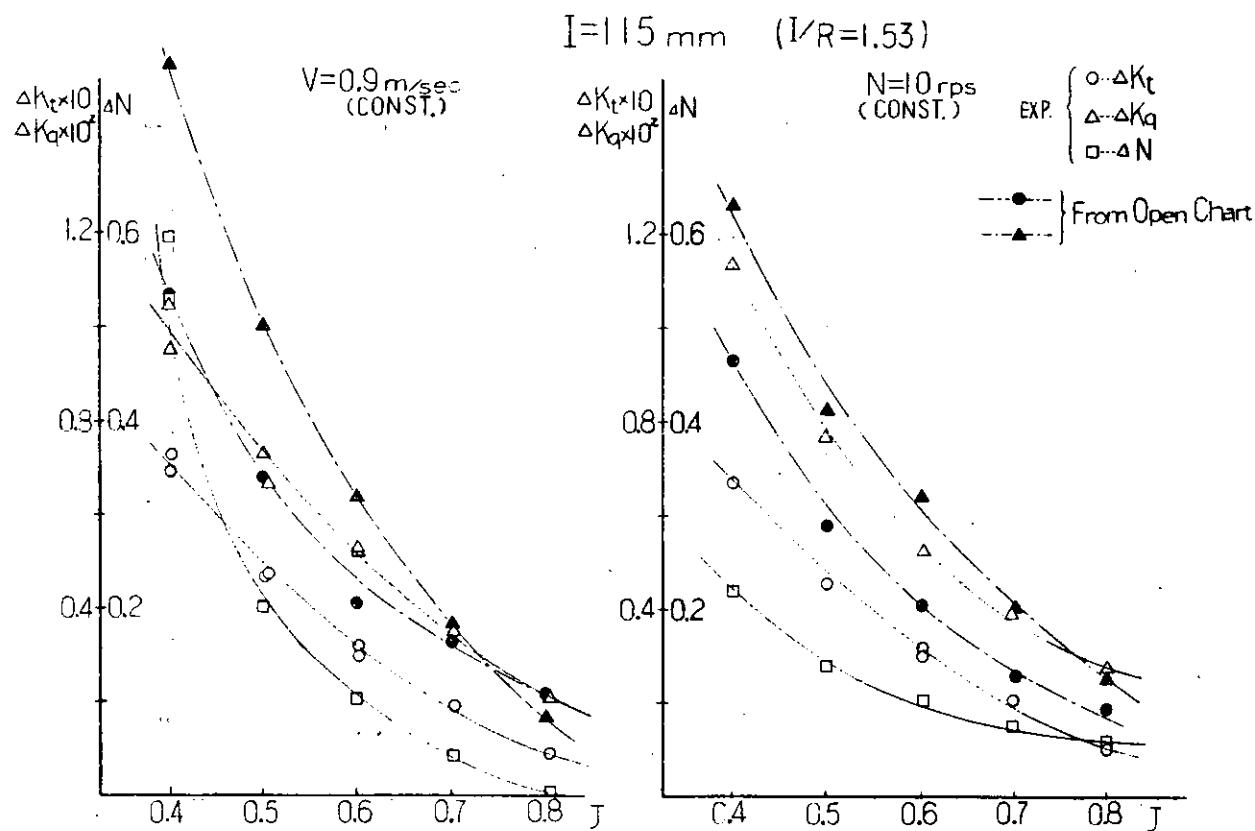


Fig. 3.6.21 浸水深度を変えた状態で強制上下揺プロペラ単独試験時の推力、トルク変動

## 4. 実船試験

### 4.1 HT号による実船試験結果の解析

#### 4.1.1 まえがき

HT号で実施された実船試験の概要については既に本部会の49年度報告書(研究資料No.188)に述べられている。こゝでは本年度実施された実船試験結果について報告する。

解析は本部会で開発された実船試験専用高速解析処理装置を使用して、統計極値解析およびスペクトラム解析を実施した。

計測項目、計測時間、計測状況等については同上報告書に載っているので省略するが、解析はピッチ角およびロール角については全ケースを、その他の項目については適宜サンプリングを行い、また船体運動の大きいケースおよび波浪が計測できた全ケースについても実施した。それらの状況をTable 4.1.1に示した。

解析の方法は上記報告書あるいは同名47年度および48年度報告書に詳しく書かれており、今回の解析もこれに従っているので省略する。

#### 4.1.2 航海状況

Table 4.1.2には就航状態を、Fig. 4.1.1には実験番号を横軸に平均船速、風速階級、出合い風向およびピッチ角、ロール角の全振幅の有義値を示した。

Table 4.1.2 SHIP'S CONDITION

VOYAGE		OUT VOYAGE		HOME VOYAGE	
PORT		YOKOHAMA	SEATTLE	PORTLAND	KOBE
d <sub>f</sub>	(m)	8.42	8.11	9.39	9.66
d <sub>a</sub>	(m)	9.24	9.01	10.58	9.95
d <sub>m</sub>	(m)	8.83	8.56	9.98	9.80
TRIM	(m)	0.82 A	0.90 A	1.19 A	0.29 A
DISP.	(t)	25,130	24,210	29,210	28,570
G. M.	(m)	0.76	0.65	0.84	0.74
F. O.	(t)	2,170	1,500	1,410	610
W. B.	(t)	3,580	3,580	3,880	3,880
CONT.	(t)	7,790	7,790	11,840	11,840

往航は終始斜追波あるいは追波状態で、大きなうねりのために船体運動は非常に大きく、特にExp. 23～Exp. 27にかけては大きく、一時は風力階級9、海象も「Strong Gale」になり、ピッチ角およびロール角は有義値でそれぞれ6°および24°にも達した。

復航はExp. 35～Exp. 54にかけては往航と同様に斜追波状態であったが、比較的穏やかで船体運動も割合小さかった。しかしExp. 55になり始めて斜向波状態となり、海象はさほど厳しくはなかったがピッチ角はやや大きくなり、一時は有義値で4.5°程度を記録した。またこの時はスプレーおよびシャターを発生、衝撃水圧もみられた。

なお図中の船速値がばらついているが、今回の実験においては時折減速航海を行った。またLog Meterは一時故障を起しているので注意を要する。

#### 4.1.3 解析結果

##### (1) 波浪

今回の実験では SR-132 で開発された圧力式波高計（投棄式）を 20 個積込み、このうち 12 個を投棄した。（往航 - 5 個、復航 - 7 個）、そして計測できたケースは往航 3 ケース、復航 3 ケースであるが、復航の 1 ケース（Exp. 57）はその後の検討結果、値がおかしいように思われ、したがって実質 5 ケースであった。なお使用した波高計の原理は SR-132 48 年度報告書に述べられている。

またレーダに撮る波長および波向をポラロイドカメラにより撮影したが、大きなうねりの場合ははっきりとその波頭をとらえることができ有効であるが、風浪の場合はみわけにくかった。

Fig. 4.1.2 および Fig. 4.1.3 にはオツシロに描かせた波形の記録およびポラロイドカメラによる波長、波向記録を載せた。Exp. 27 例は往航時で斜追波状態である。また Exp. 67 例は復航時で斜向波状態である。

Exp. 27 のオツシロの記録をみると、波は割合大きく、8 m 程度の波高もみられ、また周期は長い時は 1.5~1.6 秒になっている。一方ポラロイドの記録をみると波長の大きいものは 400 m 程度であり、完全発達波あるいはすでに減衰期に入ったうねりのケースであることがわかる。Exp. 67 は風浪の例であり、波高も小さく、ポラロイドカメラによる記録もみわけがつきにくい。

投棄式波高計による記録は投棄後定位位置からの電波送信によっており、したがって計測された波高は固定点での値ということになる。

一方船上での船体運動の記録は出会い周波数ベースであるのでこれらの比較検討のためには波を出会い周波数ベースに（あるいはその逆に船体運動の記録を固定周波数ベースに）修正してやらなくてはならない。Fig. 4.1.4 には波高を出会い周波数ベースにおよび水深影響を修正したものを載せた。ただ Exp. 27 例をみてわかるように斜追波あるいは追波状態での出会い周波数ベースへの変換は、複雑になり以後の取扱いがむづかしい。また本図をみてわかるように波周期は 4 秒~20 秒と広範囲の周波数成分を有し、またポラロイドカメラによる波長および波向記録をみてわかるように、実際海面では大半が不規則波である。

##### (2) ピッチおよびロール

Fig. 4.1.5 には代表的なオツシロに描せた記録例を、Fig. 4.1.6 および Fig. 4.1.7 には統計極値解析結果を示した。

ピッチの場合、得られた絶対値は大きいとき有義値で 6~7 度、最大値は 9 度程度になっている。周期は一般に追波時は長くなり、ゼロクロス周期で 20 秒以上になることもある。しかし向波時は短かく、7~8 秒附近に集中しており、この辺に固有周期があるものと思われる。また向波時は Rayleigh 分布に近いが、追波で周期が長くなるとむしろ Gaussian 分布に近くなる。

ロールについては、得られた絶対値は大きいとき有義値で 24~25 度、最大値は 36 度以上であった。分布としては Gaussian 分布に近い。

次にピッチとロールの連成であるが、前記高速解析処理装置を使用して多入力スペクトラム解析を行った結果を Fig. 4.1.8 に示した。

これをみると向波時および追波時ともほとんど相関はないことがわかる。また斜波中における相関は若干あるようであるが強くはない。

##### (3) 船首上下および左右加速度

Fig. 4.1.9 および Fig. 4.1.10 に解析結果を示したが、上下加速度は Rayleigh 分布に近いことがわかり、一方左右加速度はロールと同じ傾向を示しており、Gaussian 分布に近い。

ピッチでは追波時 Gaussian 分布に近いものがみられたが、上下加速度の場合それがなくなっているのは加速度  $\omega^2$  倍されている故に高周波成分が大きく、低周波成分が小さくなるためと思われる。

上下加速度の周期をみると、すべて7秒前後に集中しており、上下加速度はピッチおよびヒープによって生ずる故にピッチの固有周期はこの程度であるものと推定される。

#### (4) 縦曲げモーメント（船体中央）

Fig. 4.1.11にはオッショロに描せた記録例を示したが、Exp. 24例は追波時で船体運動は非常に大きかったとき、またExp. 57例は向波時でスプレーおよびシャダーのみられたときのものである。

本図をみてわかるように向波時と追波時では波形は全く異っている。また向波時は海象はさほど厳しくはなかったが、計測された最大値はいずれも  $8 \text{ kg/mm}$  程度である。また向波時は不規則的であり、シャダーのあったときあるいはピッチの大きいときに曲げモーメントも大きくなっている。

計測は両舷（各舷1点）で実施したがいずれも同波形であり、斜追波状態においても位相差はなく、揺れを思わせる波形はなかった。

Fig. 4.1.12には統計極値解析結果を示したが、向波では Rayleigh 分布に近いが、追波ではむしろ Gaussian 分布に近く、これはピッチ角と同じ傾向を示す。また得られた絶対値は大きいとき、有義値で  $4.0 \sim 4.5 \text{ kg/mm}$  程度であった。

次に縦曲げモーメントはピッチと同じ傾向を示していることから、ピッチとの相関は強いと思われるが、Fig. 4.1.13にこれをスペクトルの比較の形で示した。やはりピッチと非常に相関が強いことを予期させる。

Fig. 4.1.11 の Exp. 57 例ではシャダーのあったとき高次の縦曲げモーメントが計測されており、これを調べるためにサンプリング・タイムを変更して解析したのが Fig. 4.1.14 である。0.8～0.9秒附近にピークがみられる。

#### (5) 船速およびプロペラ回転数変動

船速あるいはプロペラ回転数の変動へ及ぼす要素をみるためにスペクトラムの比較を試みた。Fig. 4.1.15 にその比較を示すが、船速は図中のすべての項目に何らかの関係を持っていることがわかり、またプロペラ回転数はピッチに強い相関があることを示している。

今回の実船試験では荒天時（追波状態での）意識的減速の機会が一度あったが、このときの船体運動はどうであったかについて検討を試みた。しかし今回はプロペラ回転数の変動が大きく、危険回転数に達するためそれを回避するために採られた処置であり、一般に意識的減速が船体運動から誘発される現象、例えば背波、シャダー、プロペラレーシング、スラミング等の激化を軽減するために採れる処置と事情は異なる。

Fig. 4.1.16 には意識的減速時の船体運動の記録を載せたが、やはり意識的減速の目安の1つとなる船首上下加速度はさほど大きくなく、上記のようにピッチが大きいためのプロペラ回転数変動幅が大きくなつたことに起因すると見える。もちろんプロペラレーシングとまではいかなくてもそれに近い状態になっていたかもしれない。

Table 4.1.1 解析状況

注: --- データコードの収録範囲を示す。  
 ● 波高計計測成功  
 \* 計測失敗  
 □ ランプ作動せず

② 解析データ

船内時間	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<sup>OUTWARD</sup> 3/8 12 16											1		
17					12		3		14		5		
18	% VOL. 1				6		7		8		9		
19A					10		11		12		13		
19B					14		15		16		17		
20					18		19		20		21		
21	% VOL. 2				22		23		24		25		
22					26		27		28		29		
23					30		31		32		33		
24					34								
<sup>HOMeward</sup>													
3/9 1 3					35		36		37		38		
4					39		40		41		42		
5					43		44		45		46		
6					47		48		49		50		
7	% VOL. 4				51		52		53		54		
9					55		56		57		58		
10					59		60		61		62		
11					A				63		64		
12									65		66		
									67		68		
									69		70		
船内時間	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

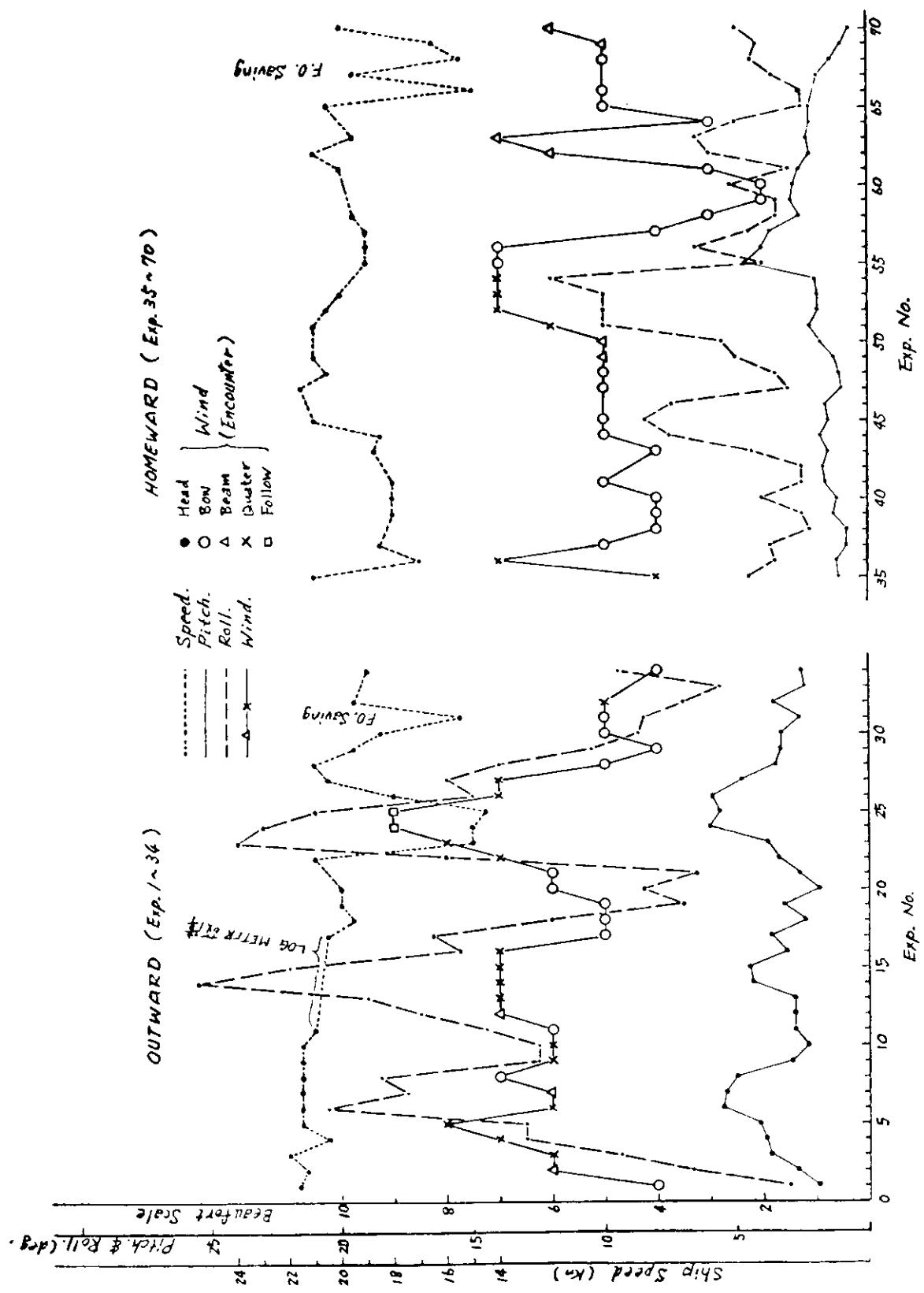
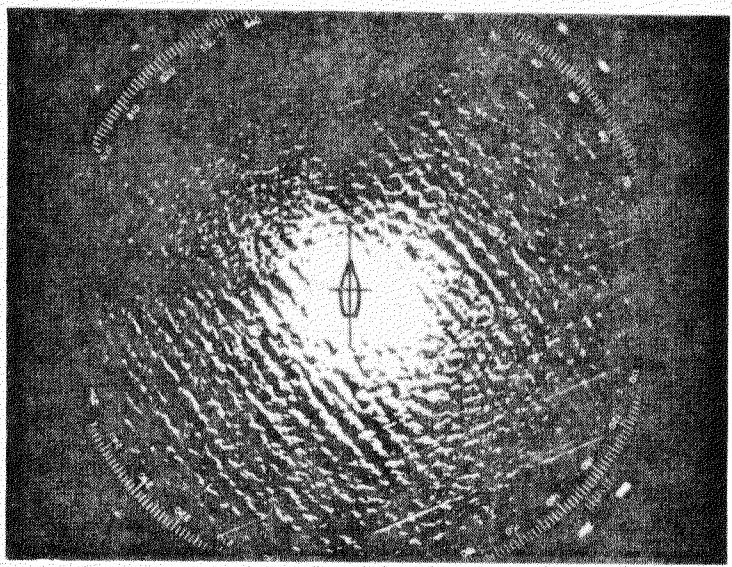
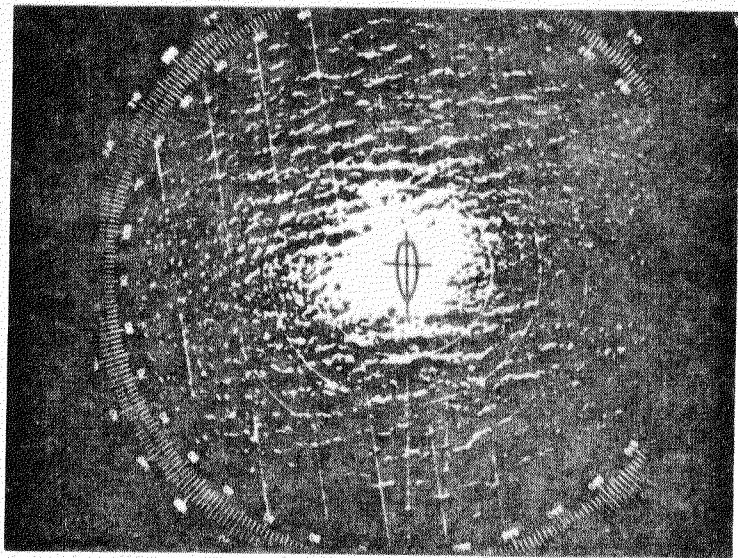
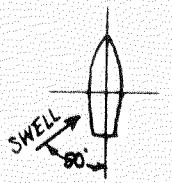


Fig. 4.1.1 航海状况



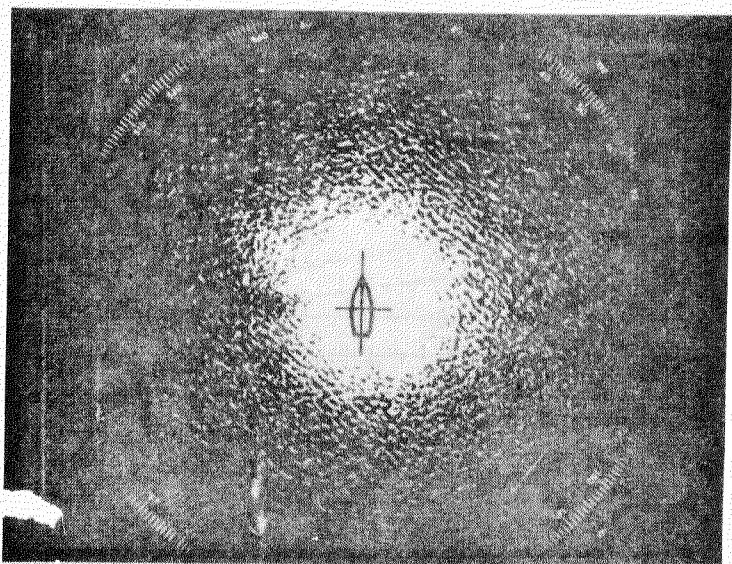
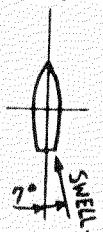
Exp. 14

$$L_w \approx 230 \text{ m}$$



Exp. 27

$$L_w \approx 400 \text{ m}$$



Exp. 67

$$L_w \approx 120 \text{ m}$$

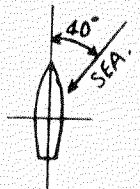


Fig. 4.1.3 ポラロイドカメラによる波長および波向記録例

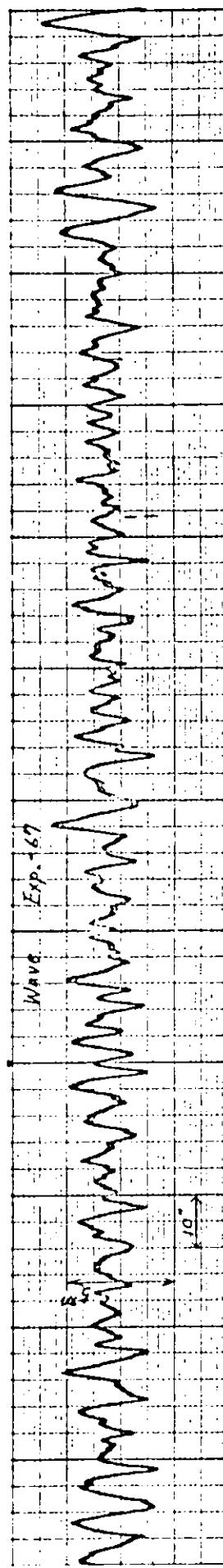
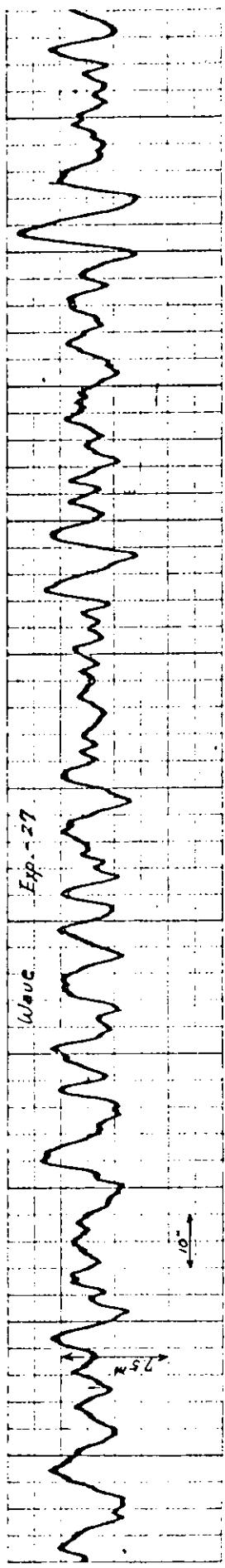


Fig. 4.1.2 波高計測例

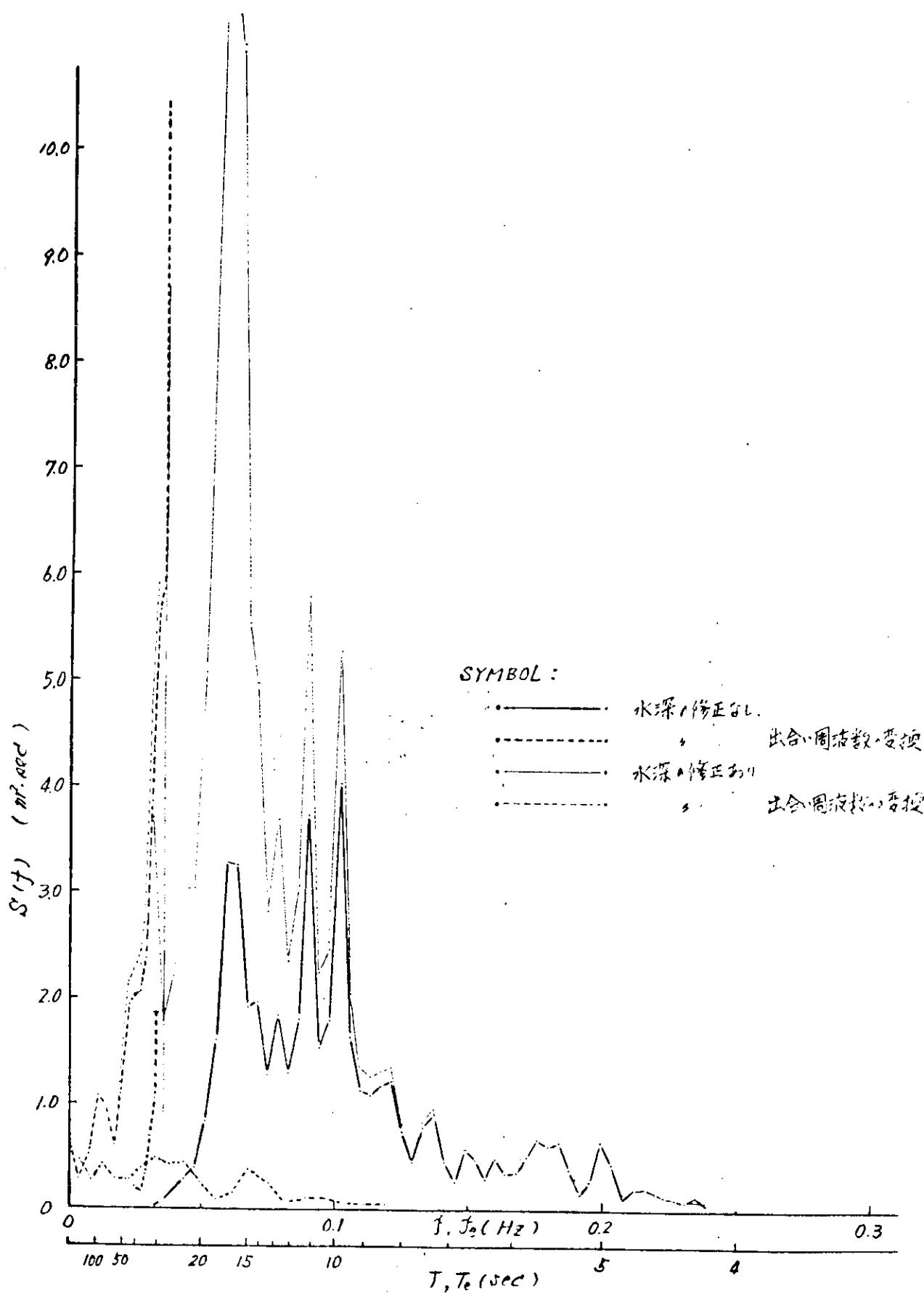


Fig. 4.1.4 (a) Wave Spectrum 例 (Exp. 27)

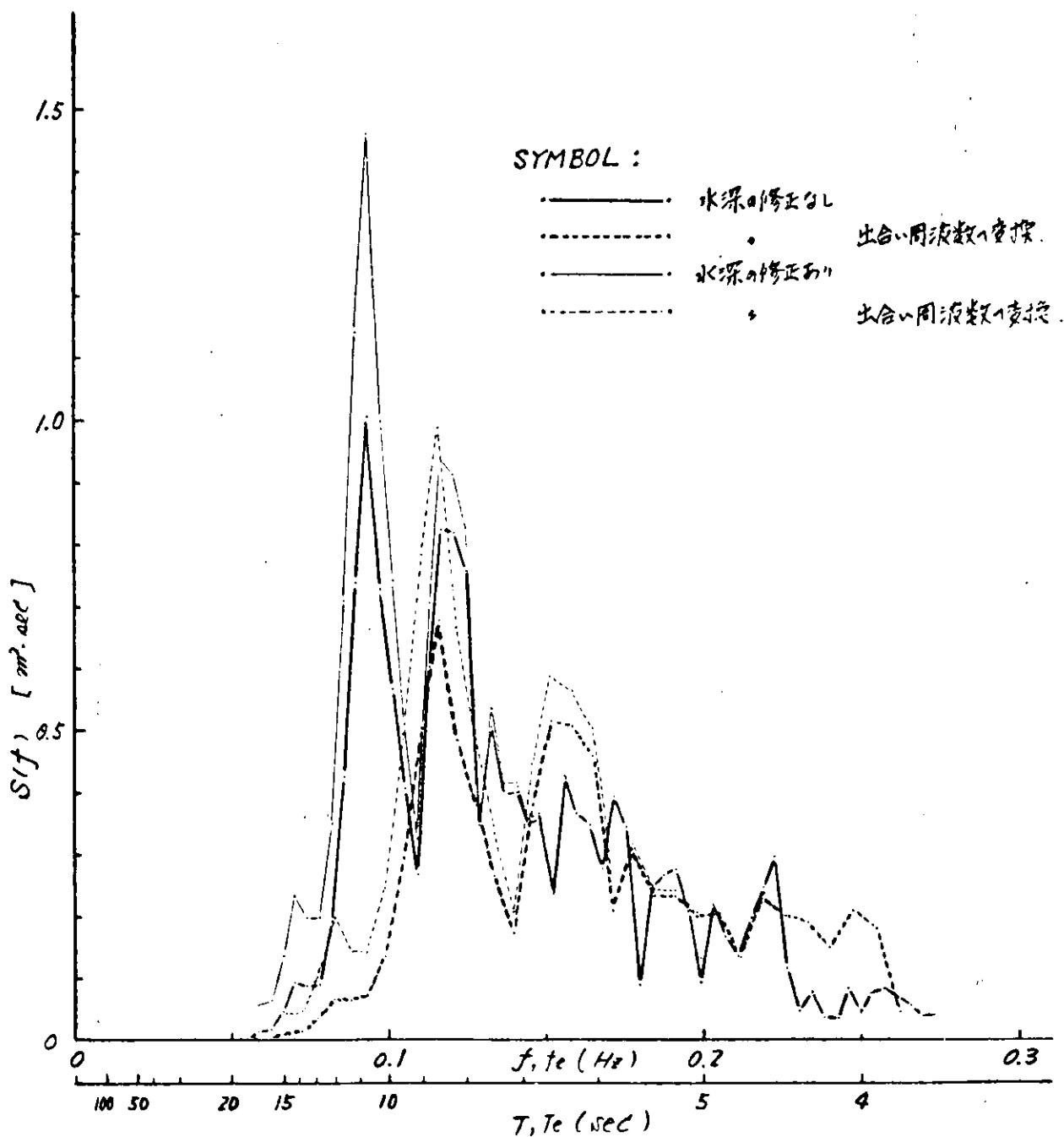


Fig. 4.1.4 (b) Wave Spectrum 例 (Exp. 67)

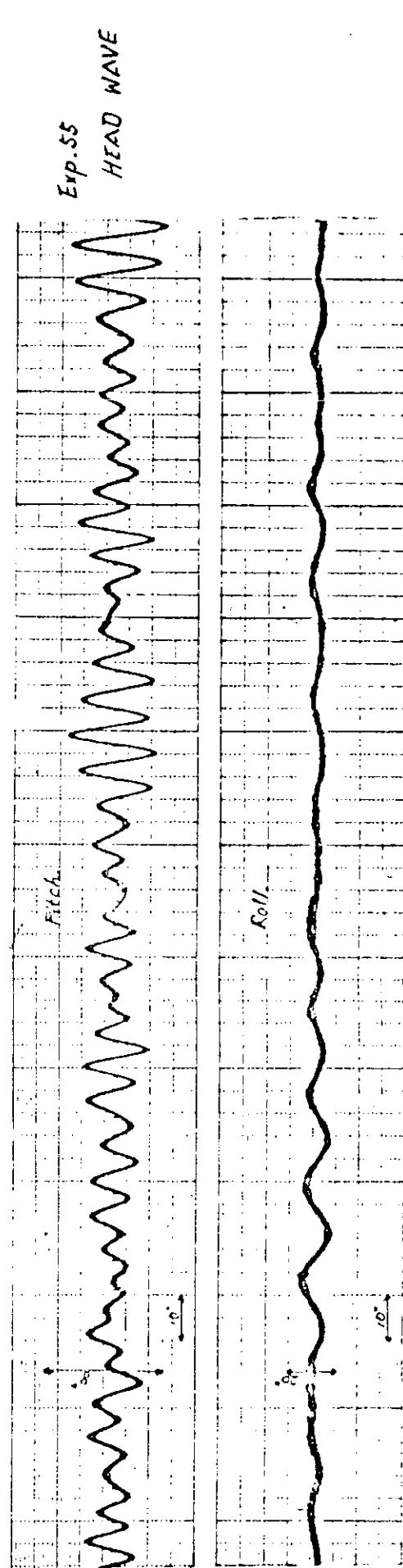
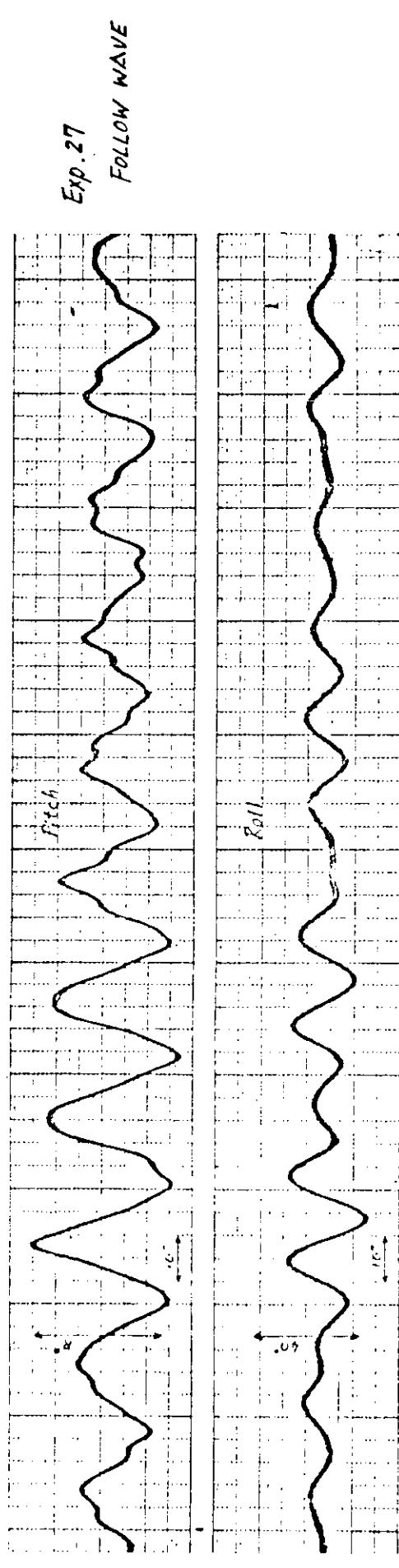


Fig. 4.1.5 Pitch. & Roll. 計測例

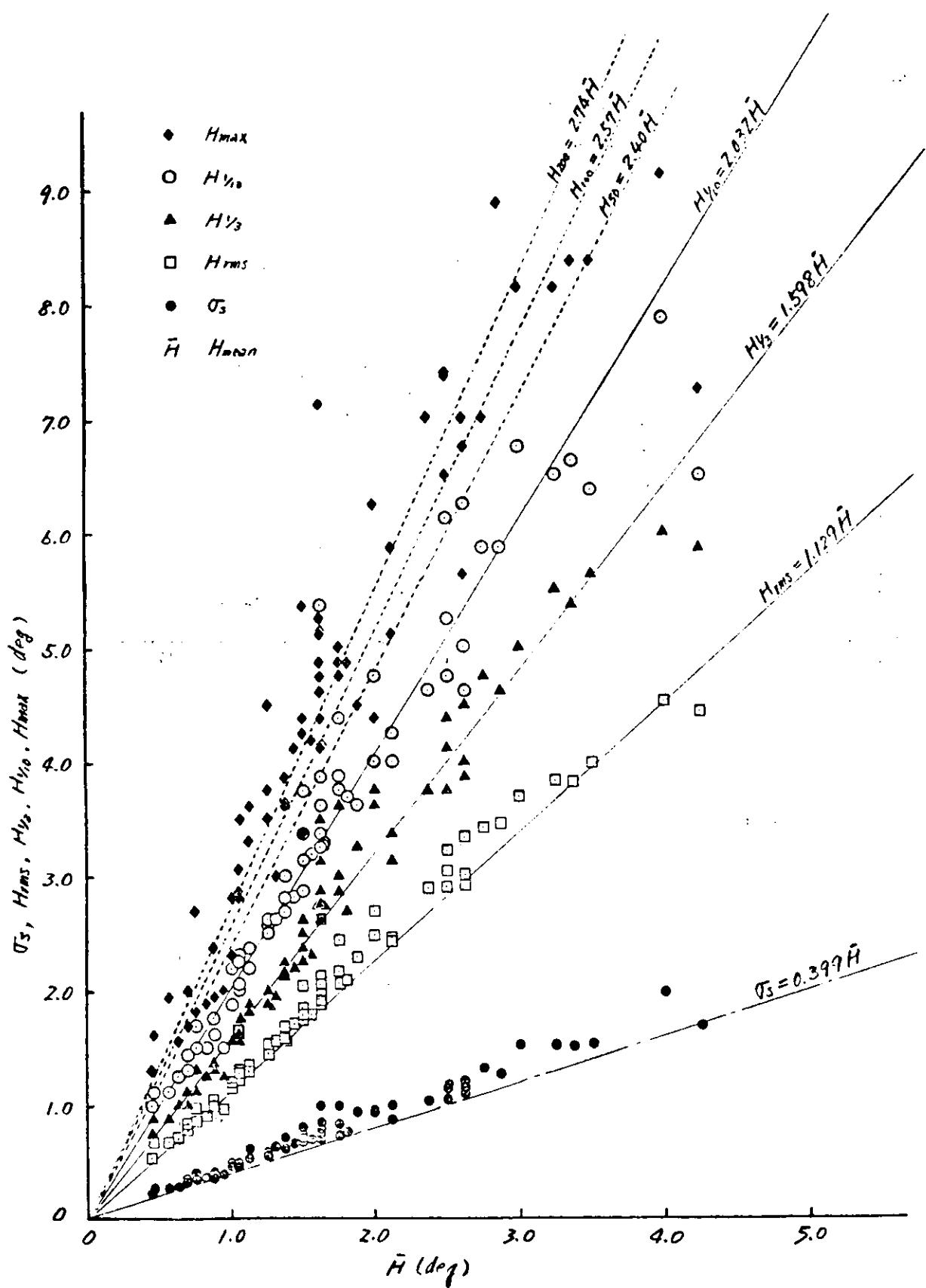


Fig. 4.1.6 - (a) Pitch. Angle

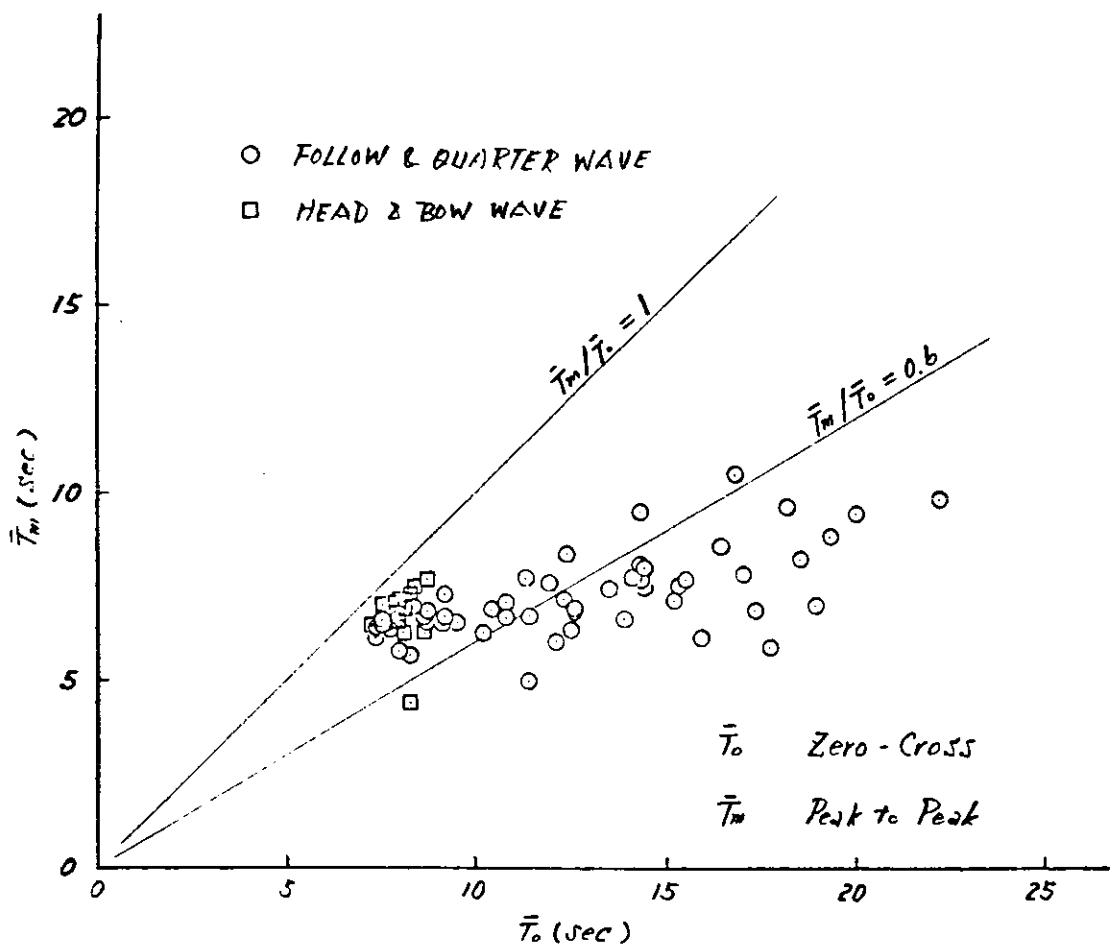


Fig. 4.1.6 (b) Pitch. Angle

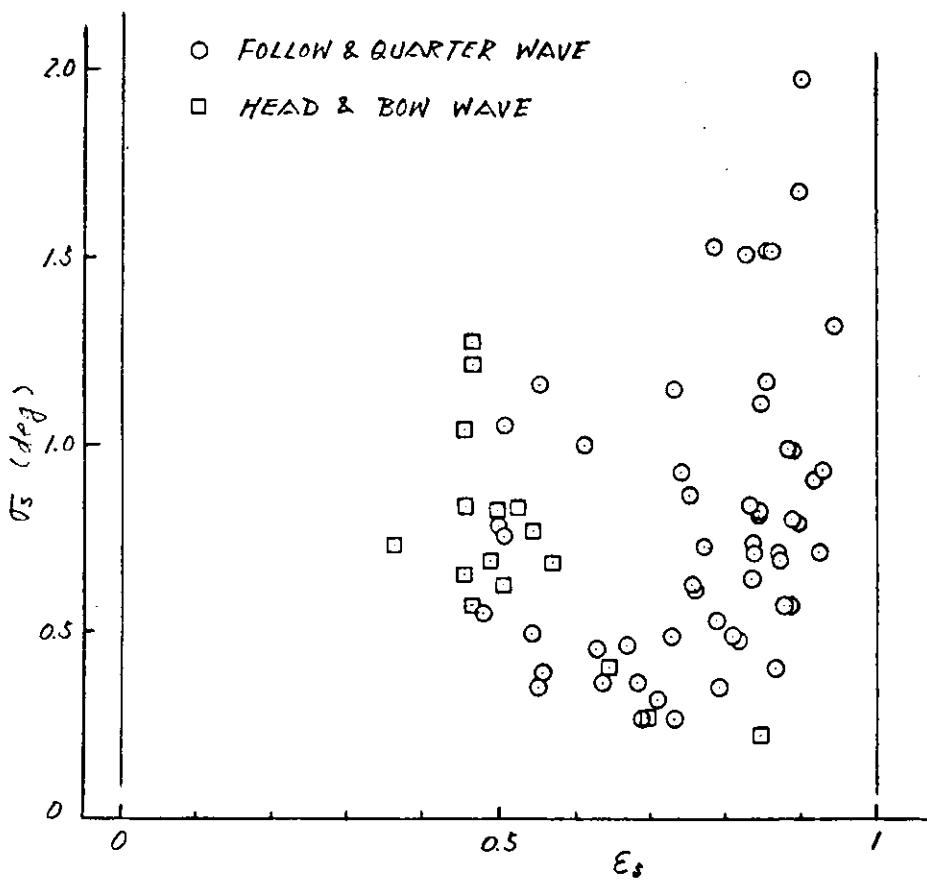


Fig. 4.1.6 (c) Pitch. Angle

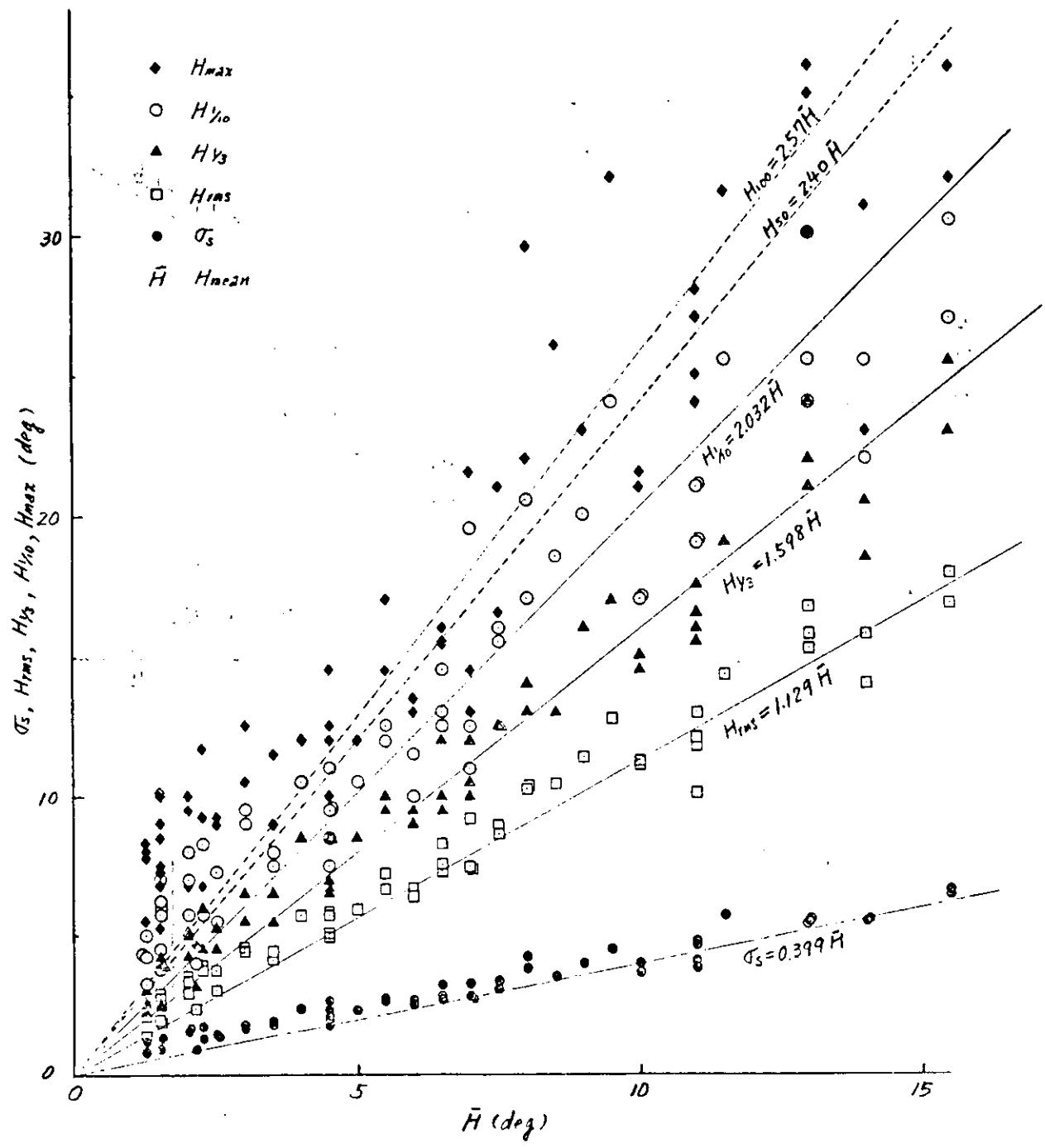


Fig. 4.1.7 (a) Roll Angle

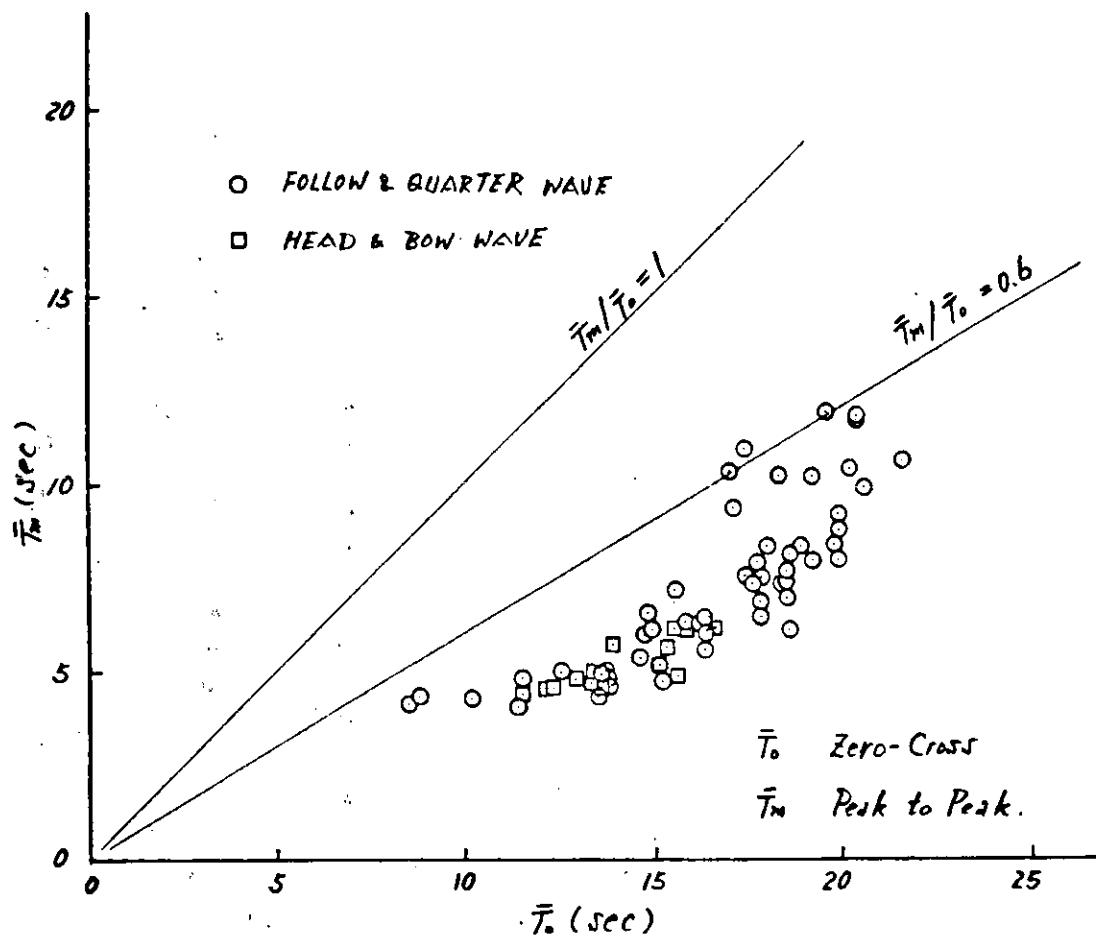


Fig. 4.1.7 (b) Roll Angle

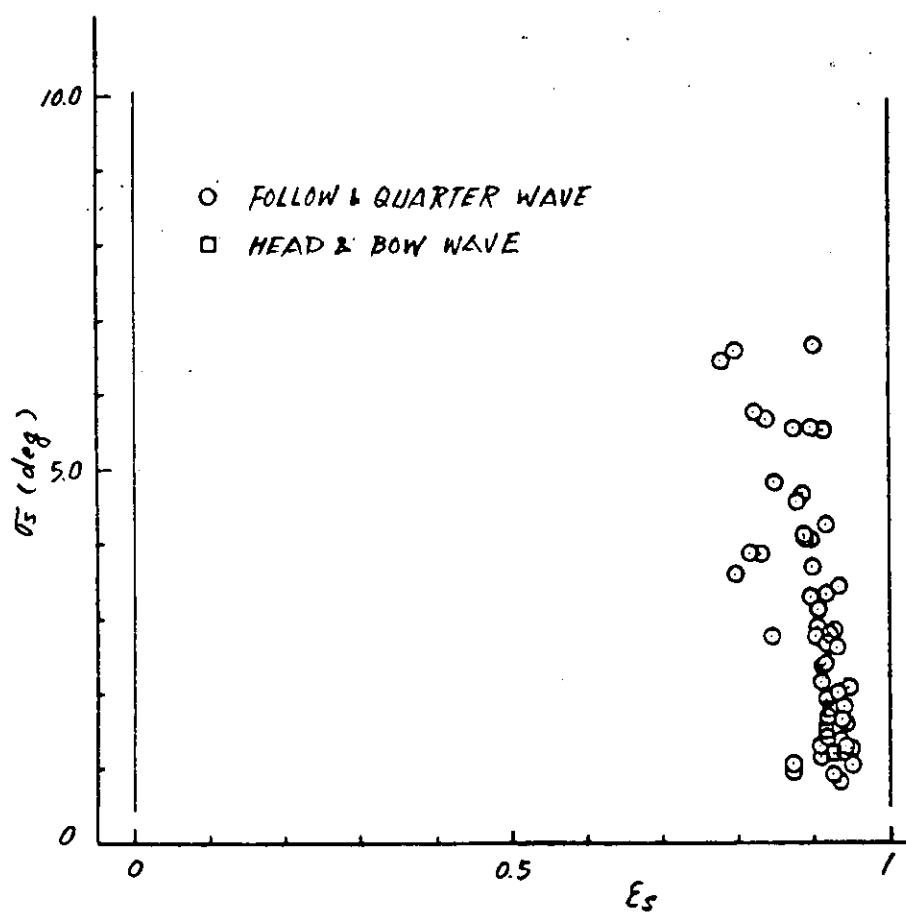


Fig. 4.1.7 (c) Roll Angle

PITCH - ROLL . ( FOLLOW & HEAD WAVE ) - 1/2  
 ( SPECTRUM ST 1/2 )

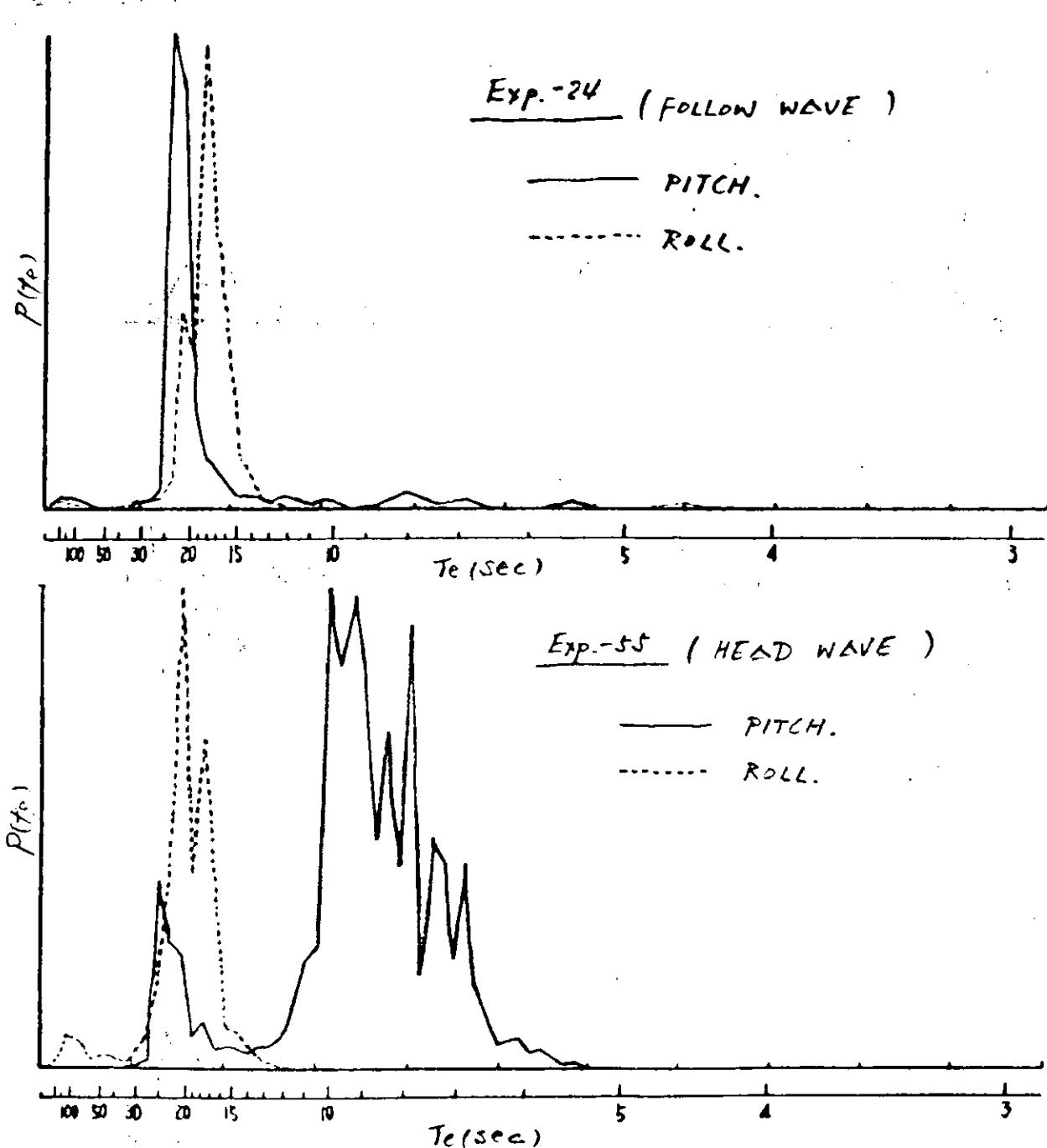


Fig. 4.1.8 (a) 相互相関関数

PITCH : ROLL ( FOLLOW & HEAD WAVE ) - 32

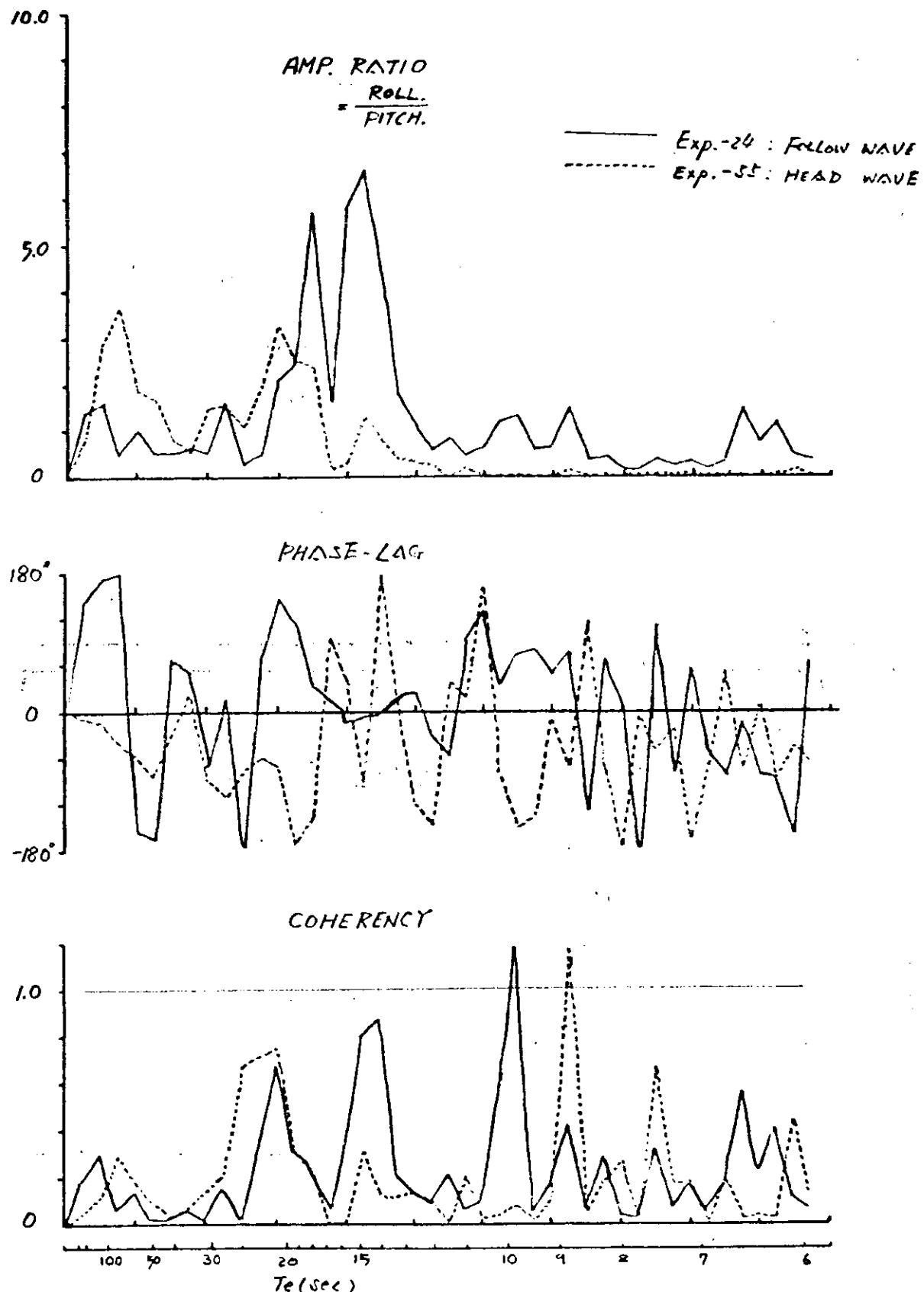


Fig. 4.1.8 (b) 相互相関々数

PITCH.-ROLL. (QUARTER & BOW WAVE) - 1/2  
 (SPECTRUM H<sup>1/2</sup>)

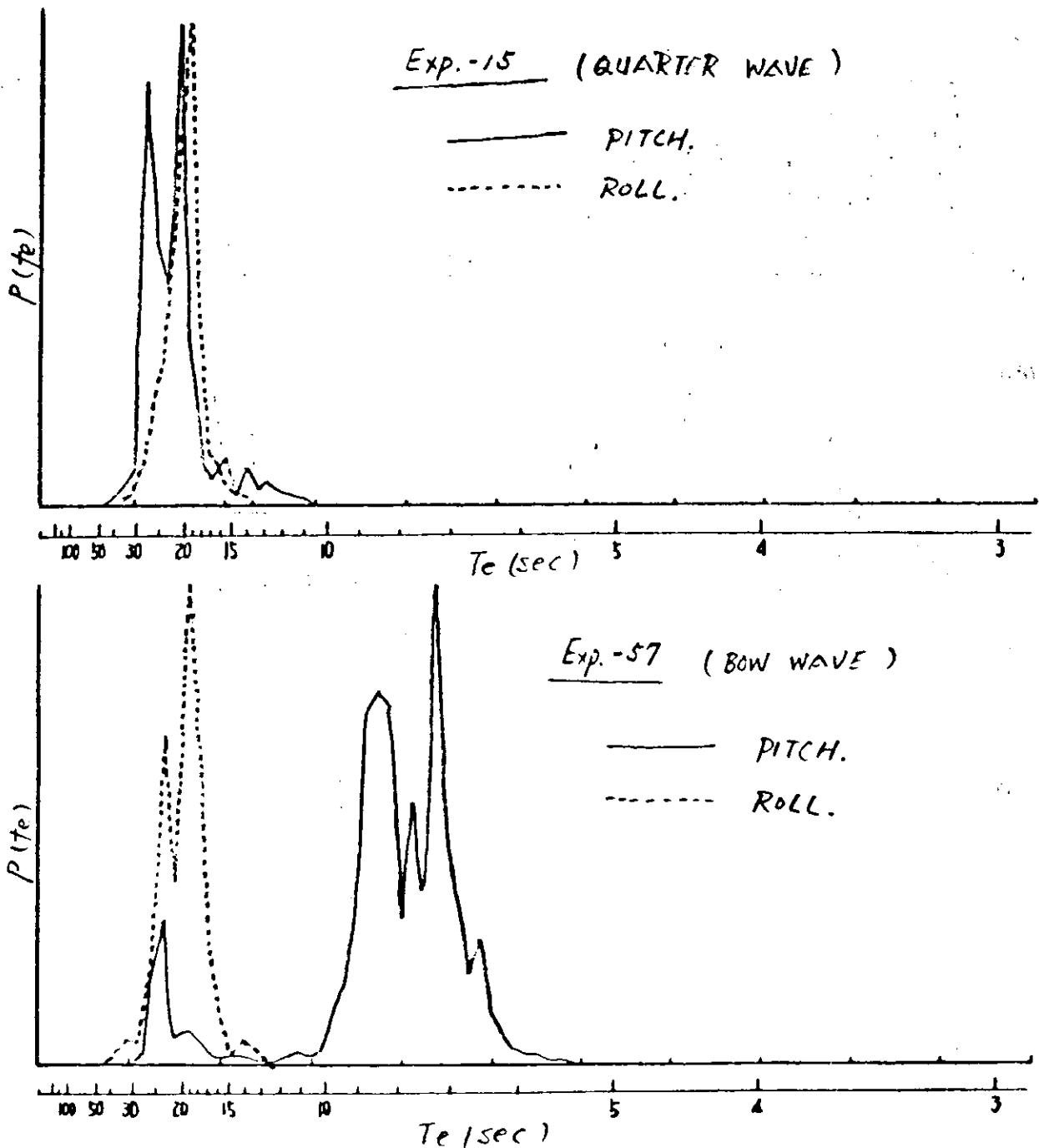


Fig. 4.1.8 (c) 相互相関々数

PITCH - ROLL. (QUARTER & BOW WAVE) <sub>3/2</sub>

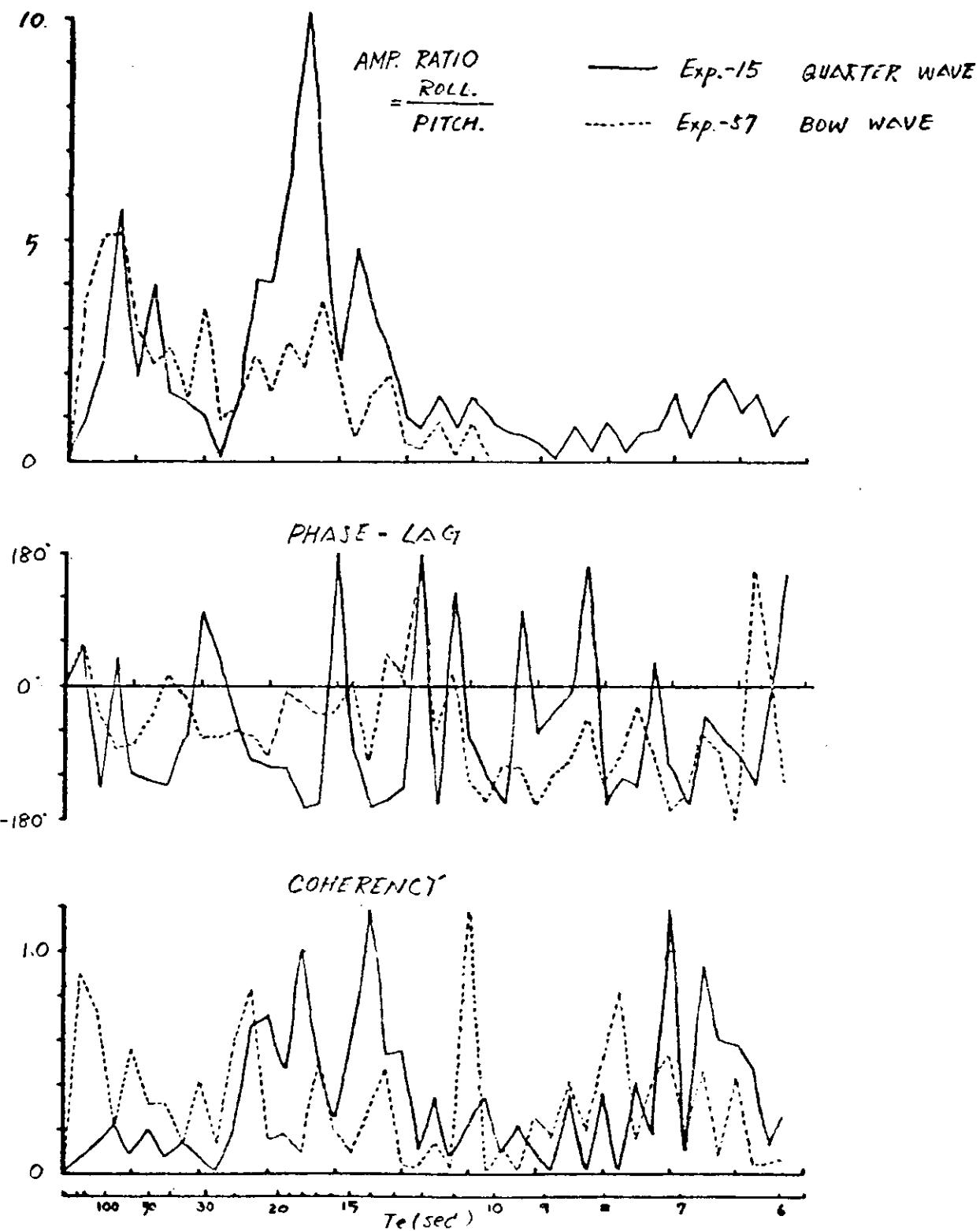


Fig. 4.1.8 (d) 相互相關係数

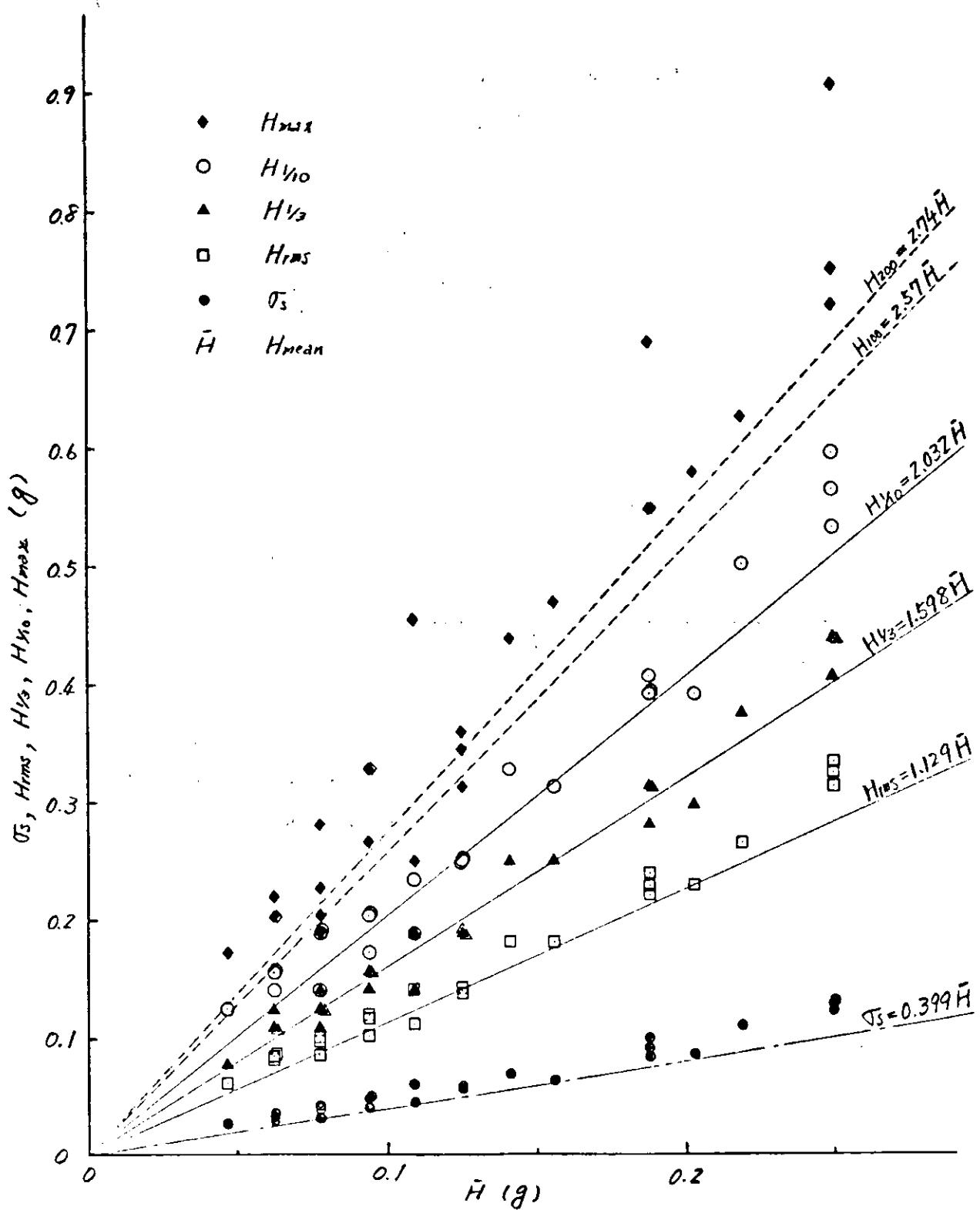


Fig. 4.1.9 (a) Vertical Acc. (Fore)

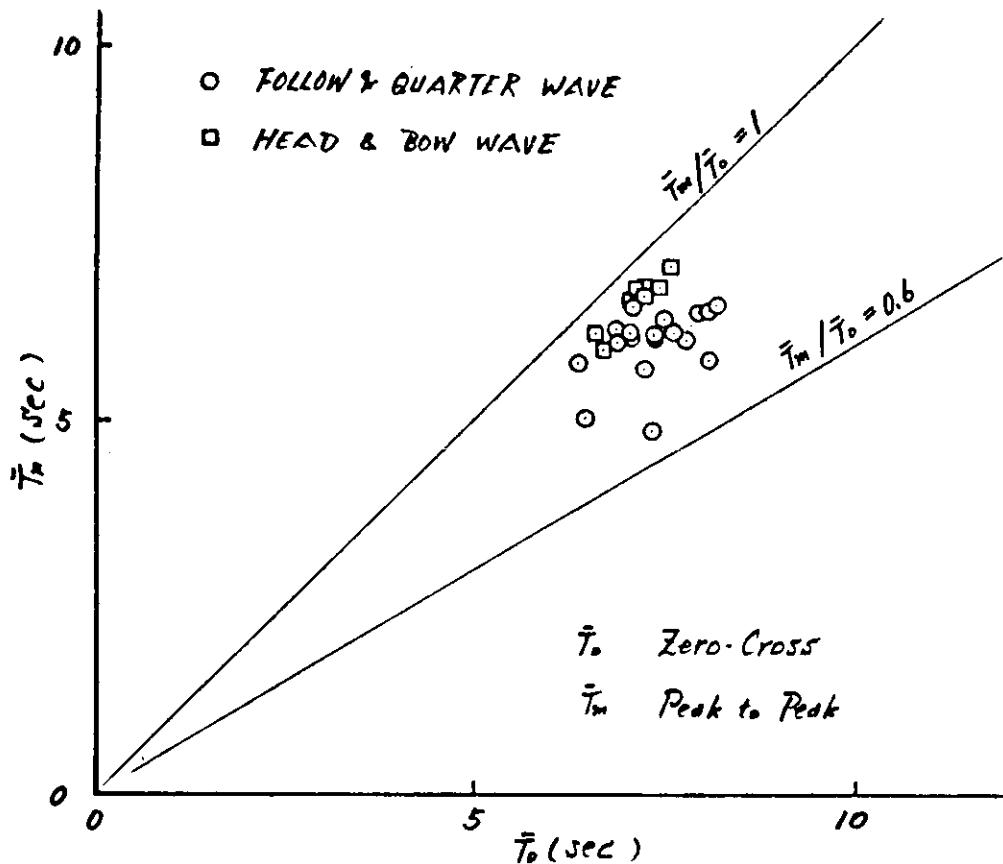


Fig. 4.1.9 (b) Vertical Acc. (Fore)

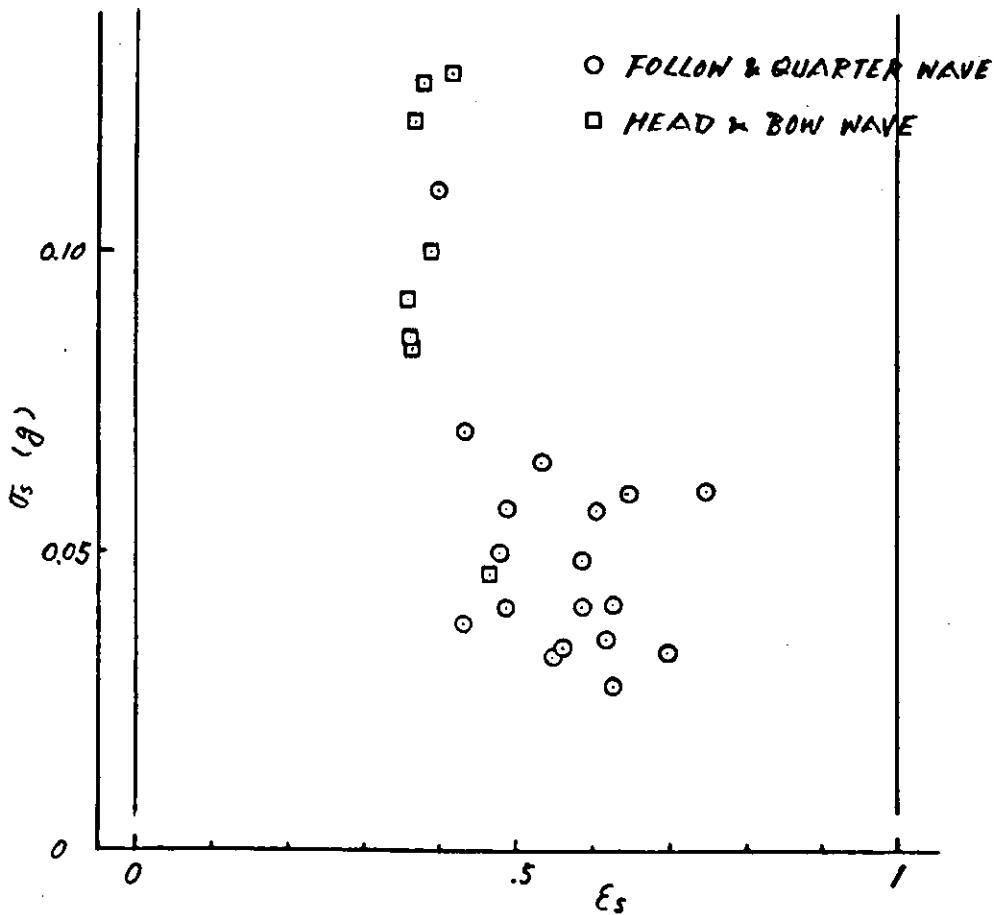


Fig. 4.1.9 (c) Vertical Acc. (Fore)

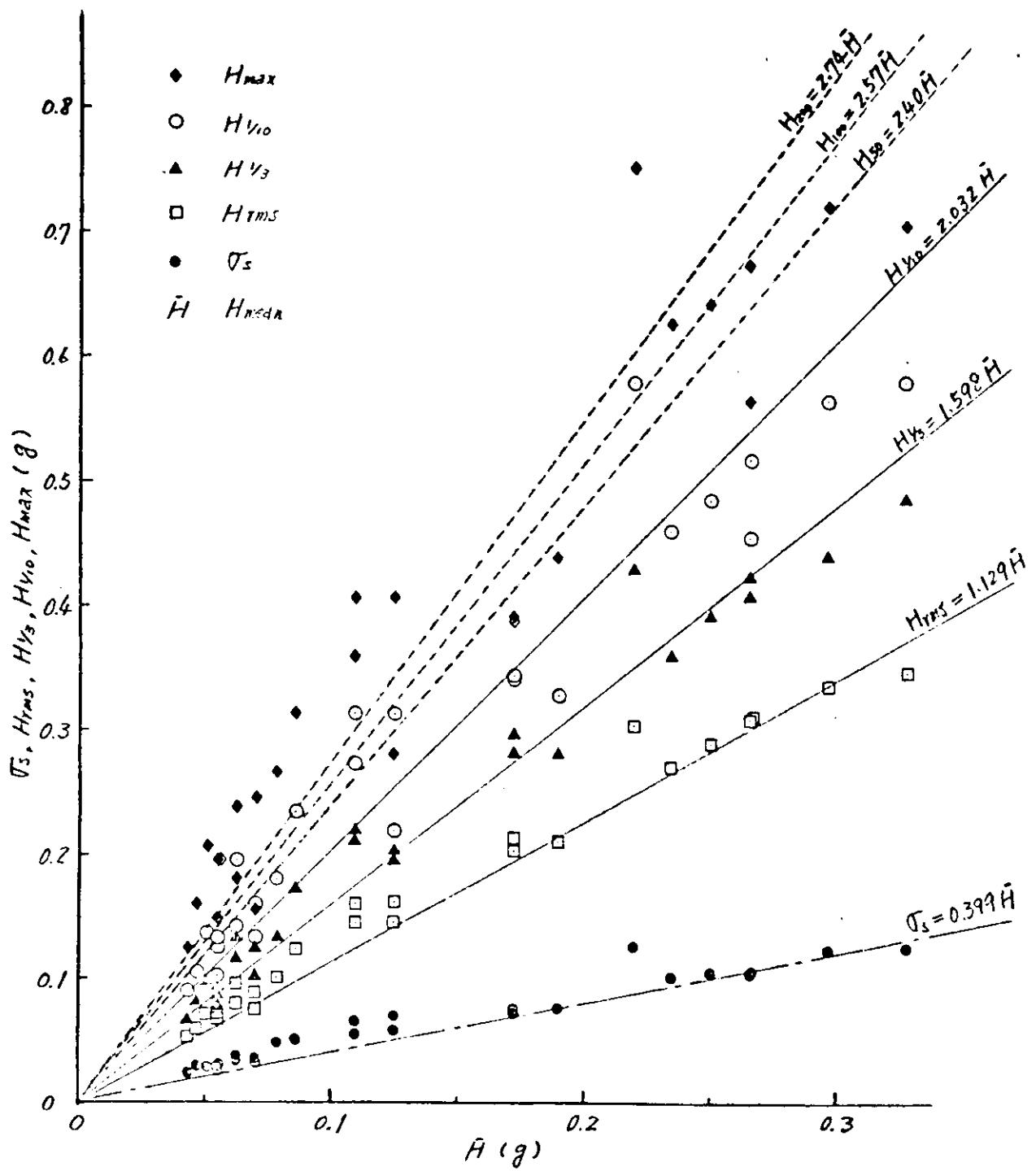


Fig. 4.1.10 (a) Lateral Acc. (Fore)

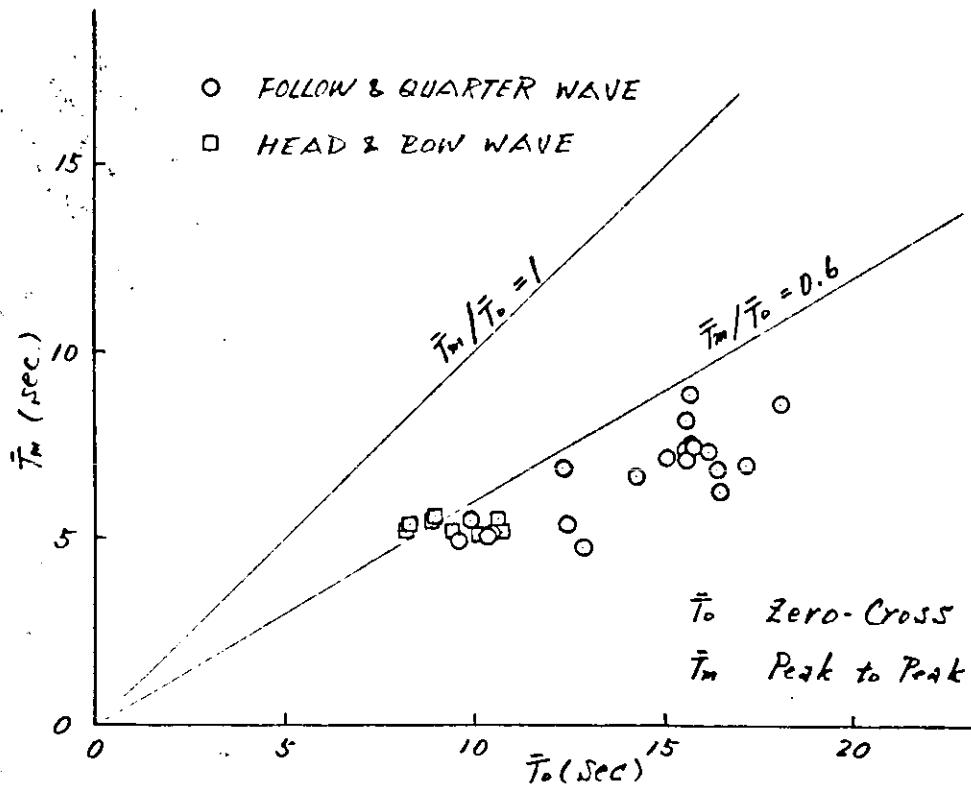


Fig. 4.1.10 (b) Lateral Acc. (Fore)

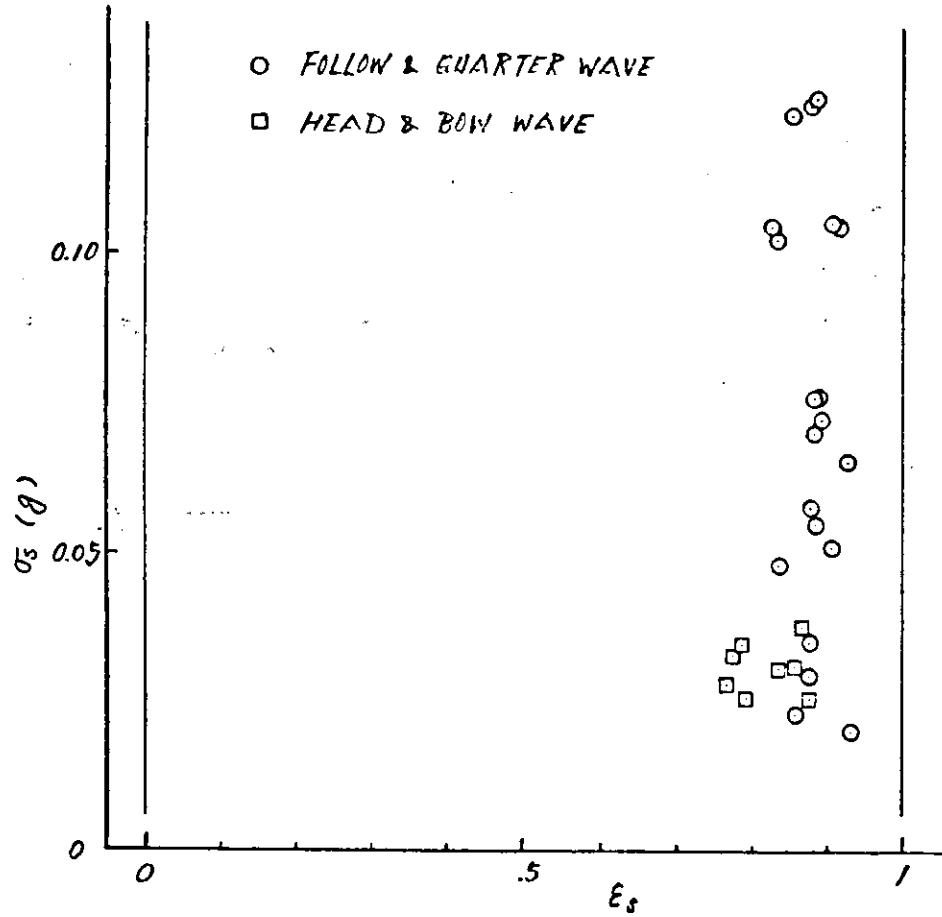


Fig. 4.1.10 (c) Lateral Acc. (Fore)

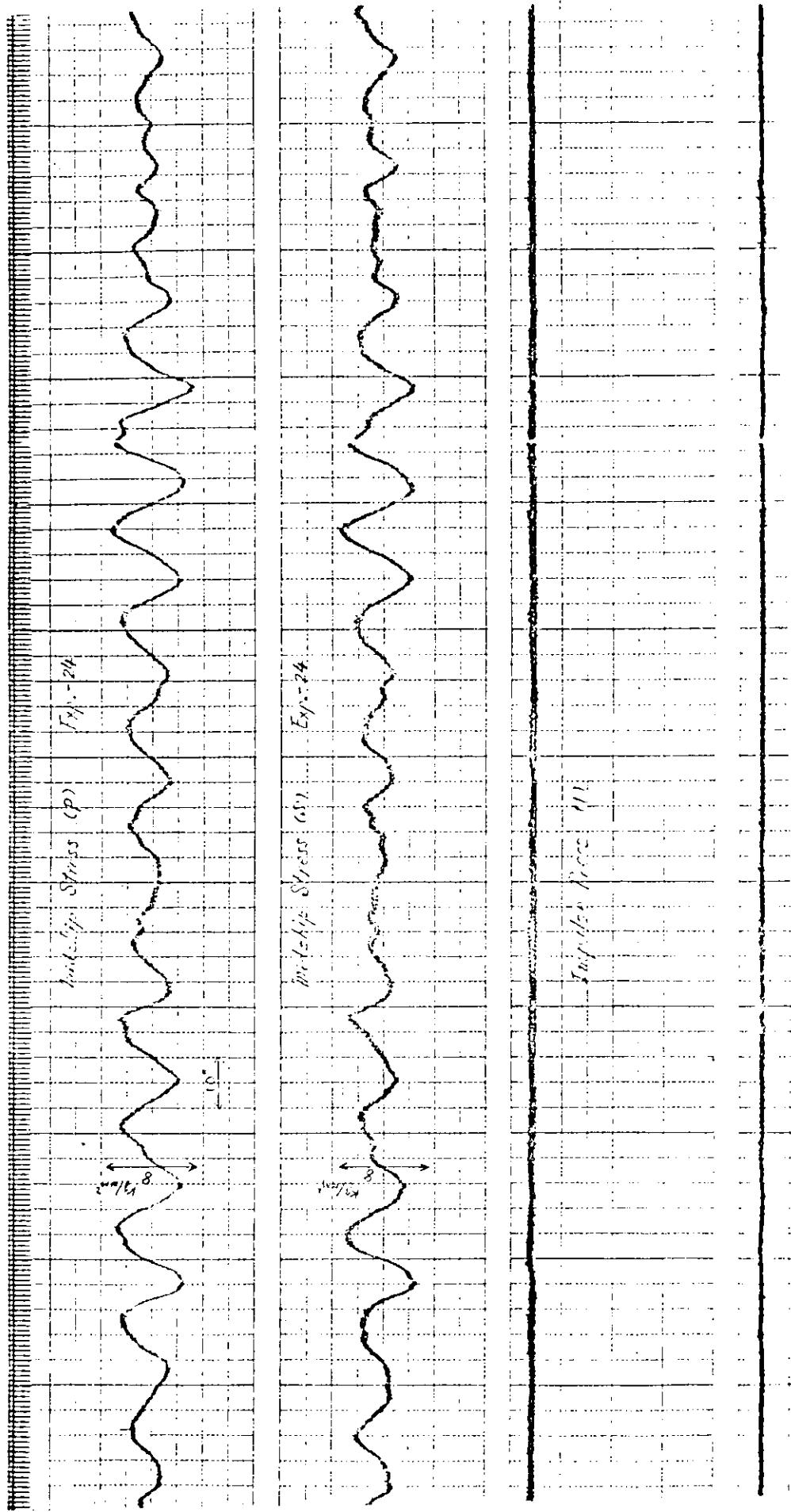


Fig. 4.1.11 (a) Long.-Stress (船体中央) 計測例

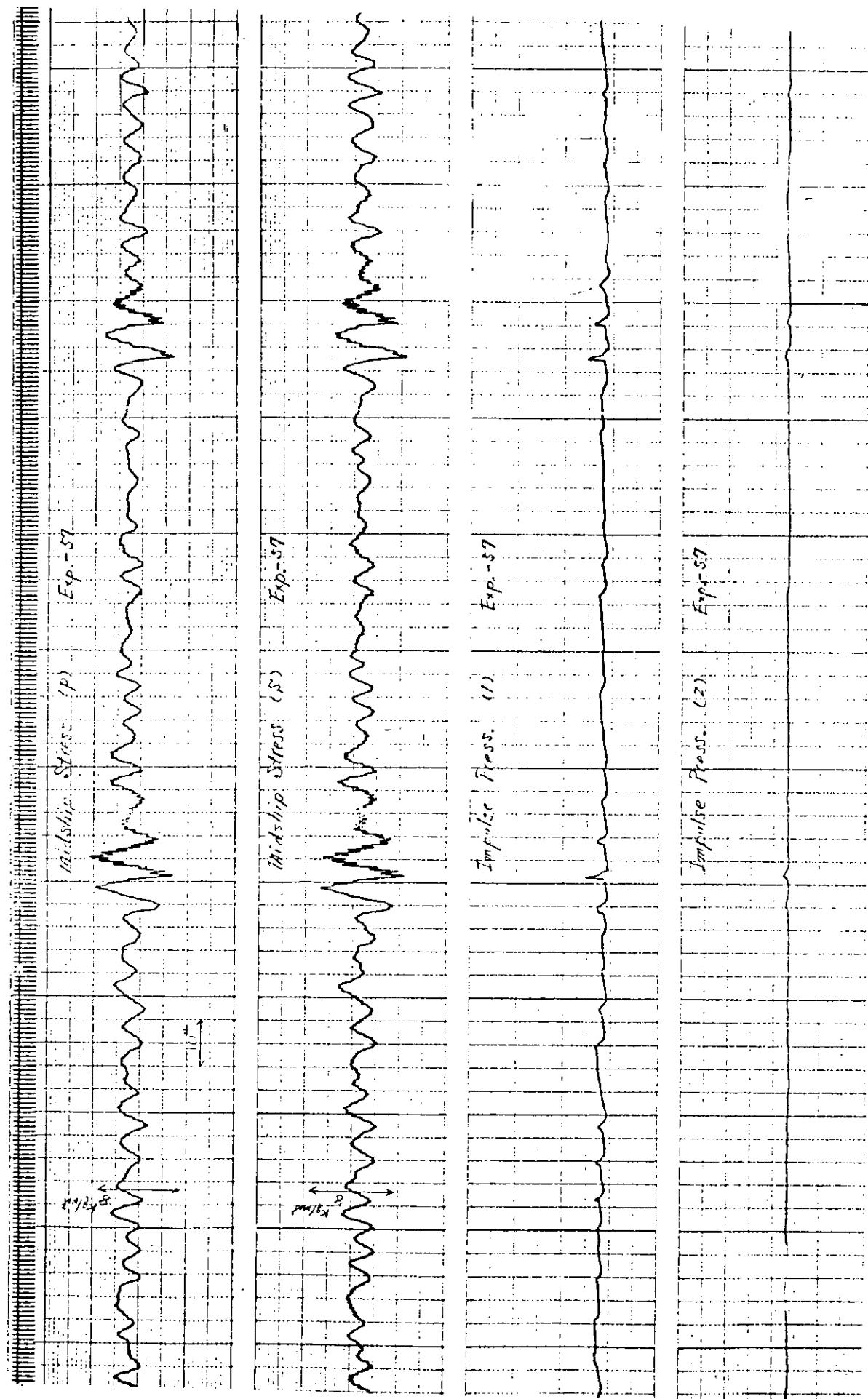


Fig. 4.1.11 (b) Long.-Stress (船体中央) 計測例

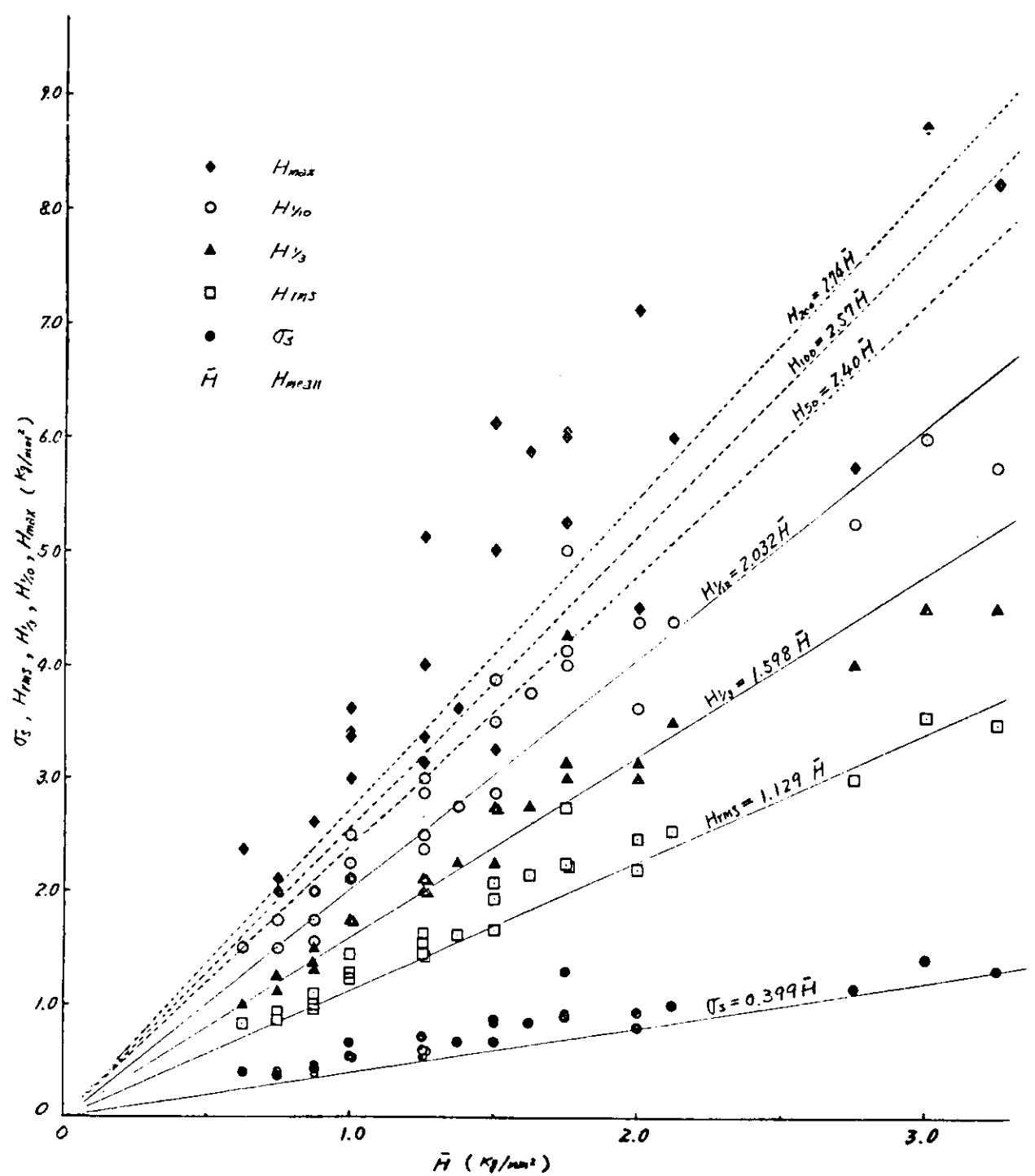


Fig. 4.1.12 (a) Long.-Stress (船体中央)

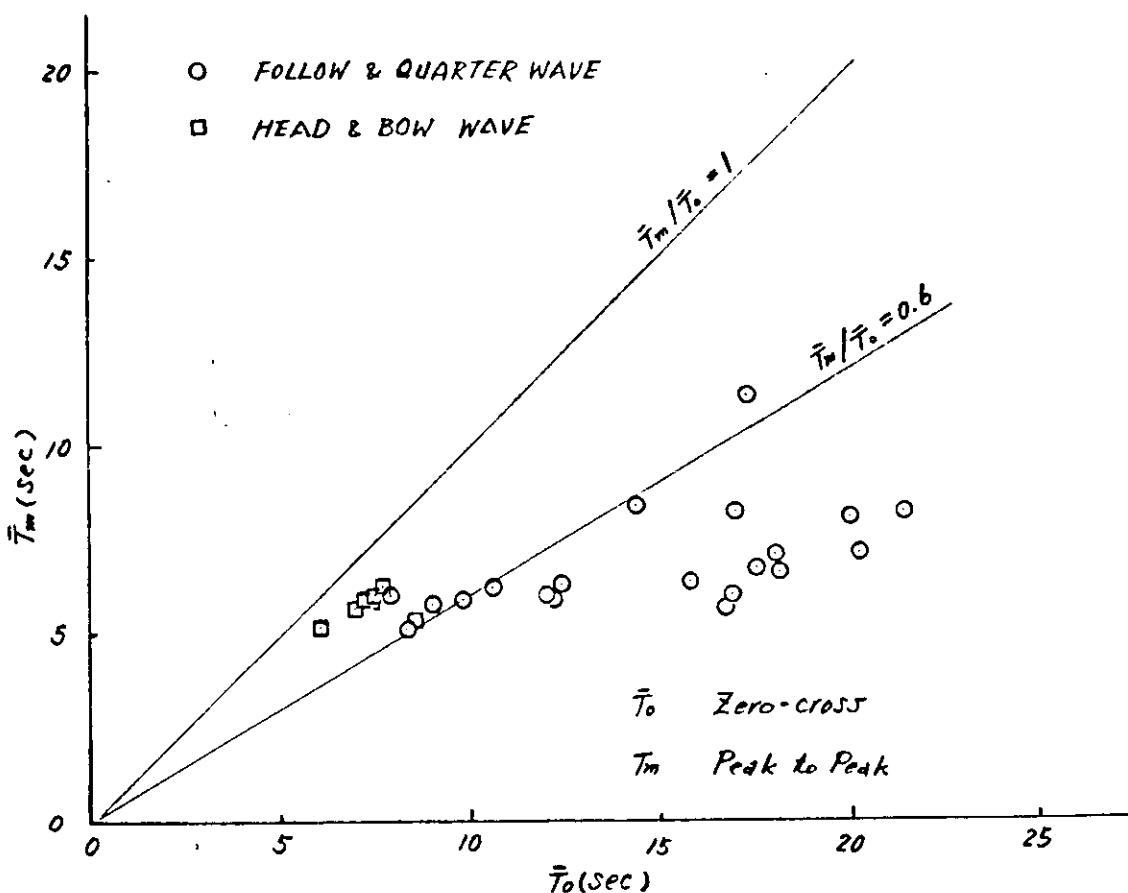


Fig. 4.1.12 (b) Long.- Stress (船体中央)

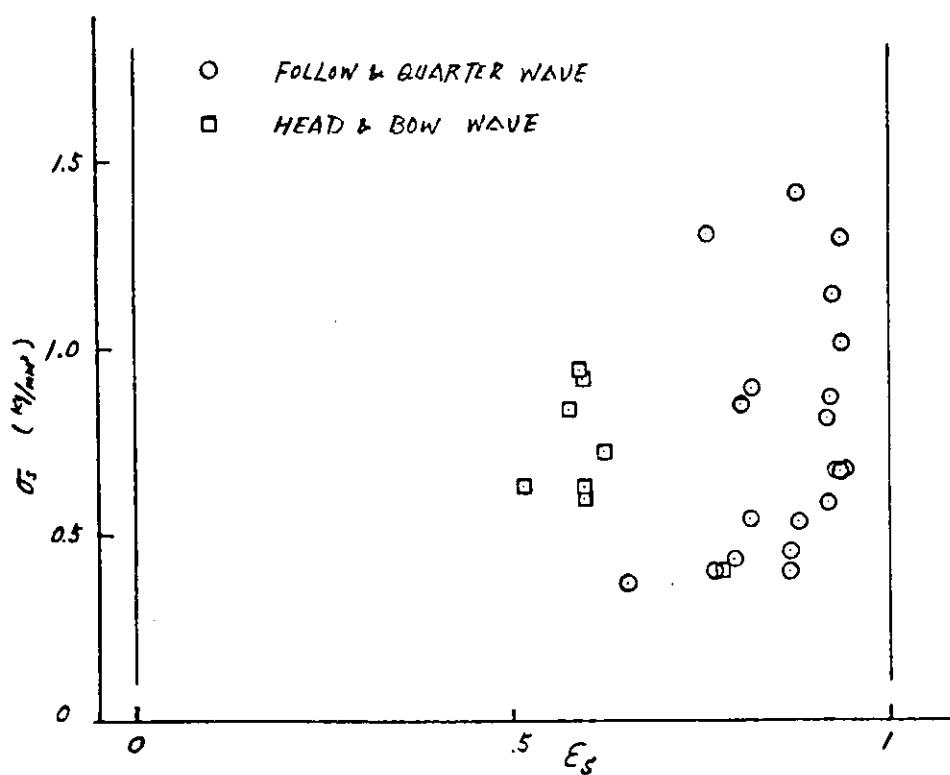


Fig. 4.1.12 (c) Long.- Stress (船体中央)

——— Midship Stress (P)  
 - - - - Pitch. Angle  
 - - - Roll. Angle

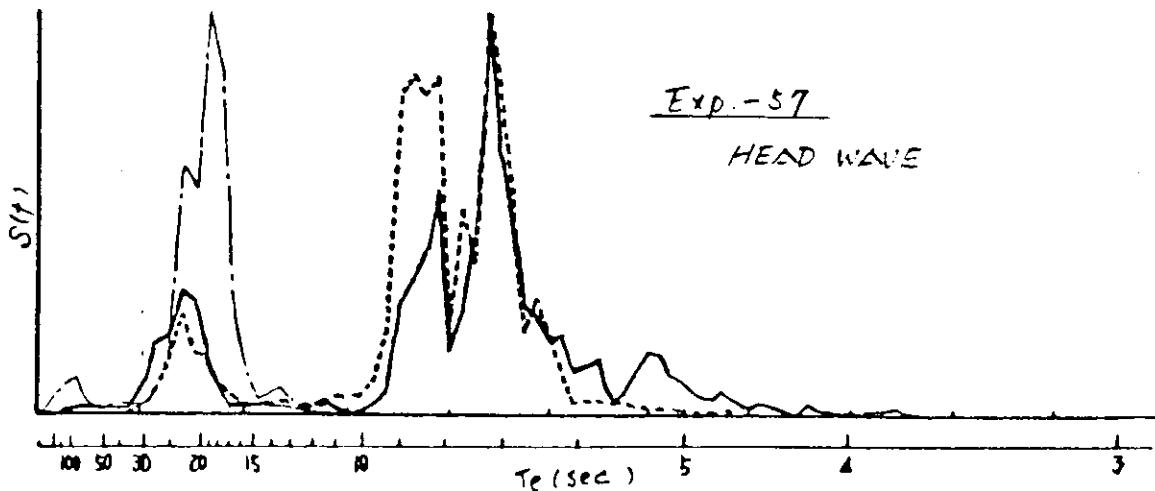
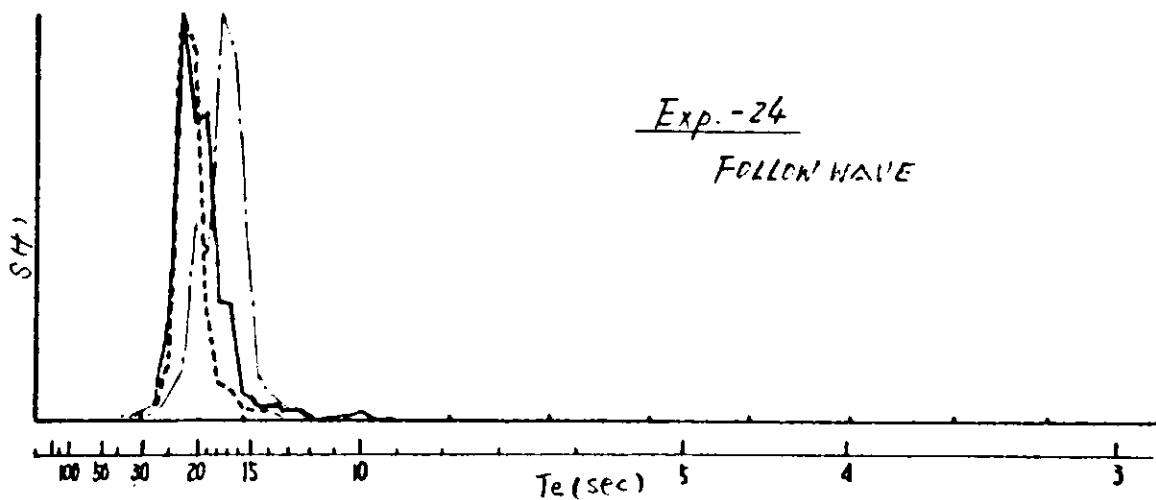


Fig. 4.1.13 Long-Stress Spectrum 比較

DATE TIME  
1974-07-04

EMF NO.  
HUTAKA-57  
PHENOMENON  
M. STP. P.

MEWH = 8.30E-01  
PF = 1.37E-01  
P.USE = 5.99E-01  
P.STD = 7.24E-01  
SUP = 6.72E-01  
TCP = 6.27  
TCPJ = 1.24

CAL FACT  
9.688  
K/M2 / 0

K/M2 / 0  
NO. OF DATA  
2648.0  
BLOCK SIZE  
256  
NO. OF LOG  
16X 8

AUE TIME  
8 (E)  
SAMP. TIME  
2.00E-01 H  
EDW Q  
COM  
MENTS DOU  
E. AMP. DOUT  
O.COR AUT  
O.POW PRO  
(NO. 1250U  
NT 1

1.72

2.29

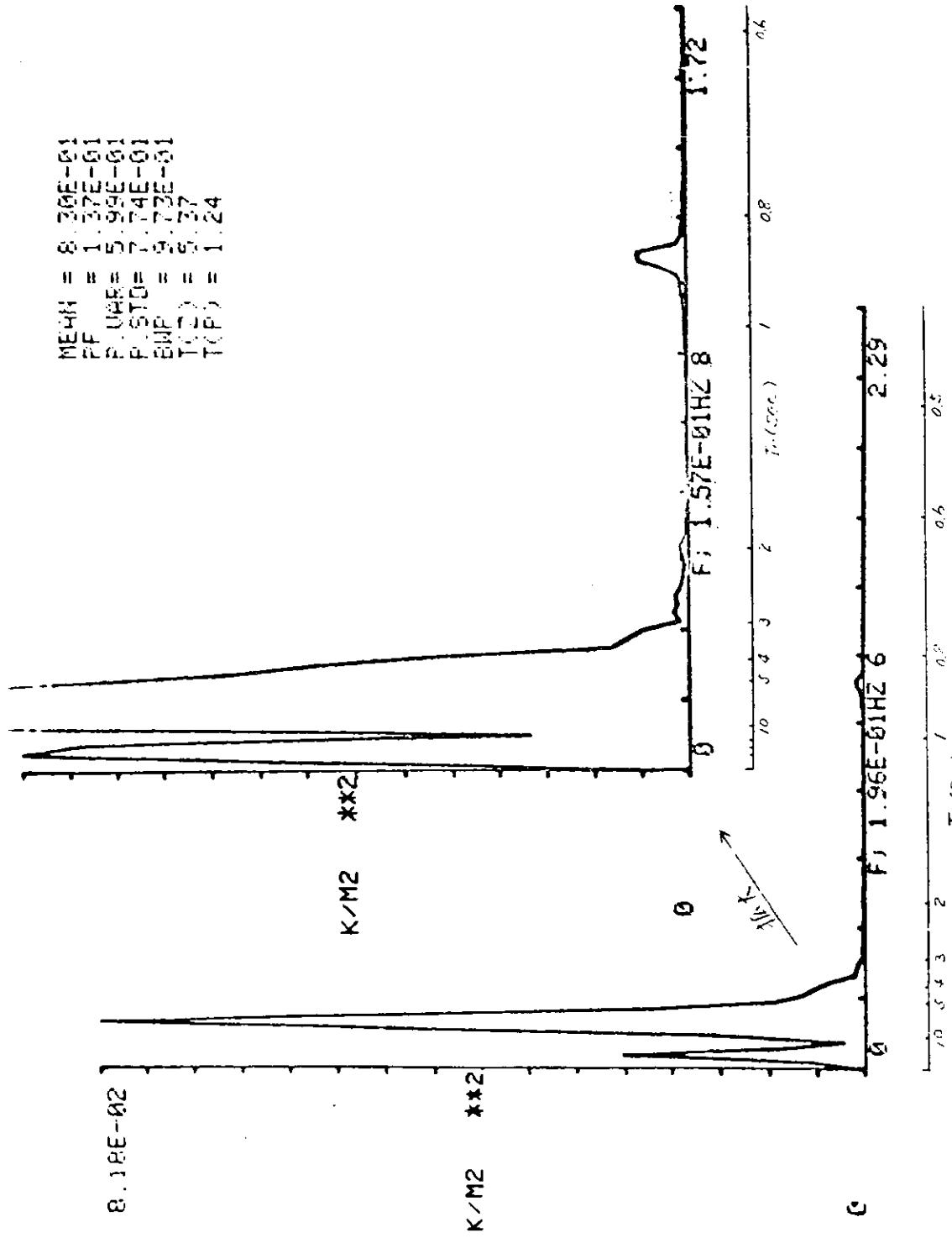


Fig. 4.1.14 Long. - Stress Spectrum Example

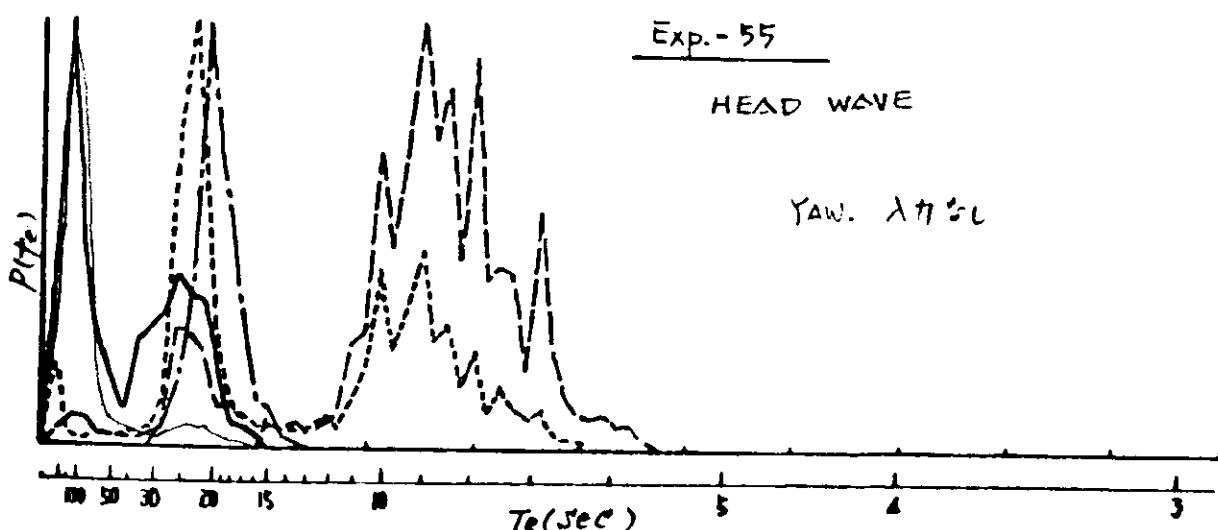
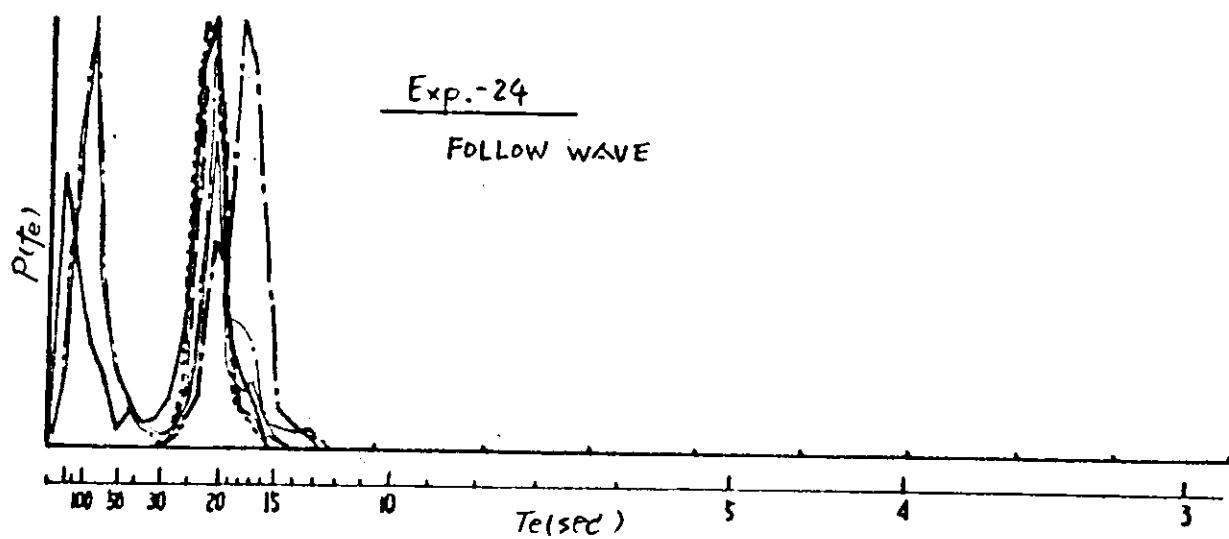
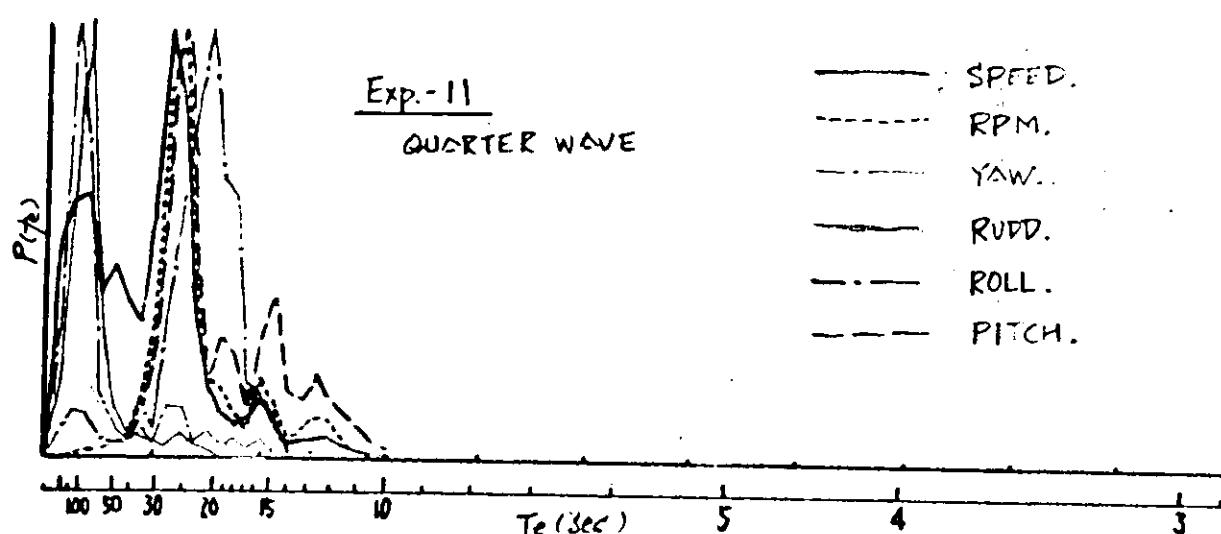


Fig. 4.1.1.5 Speed or Rev. に及ぼす影響

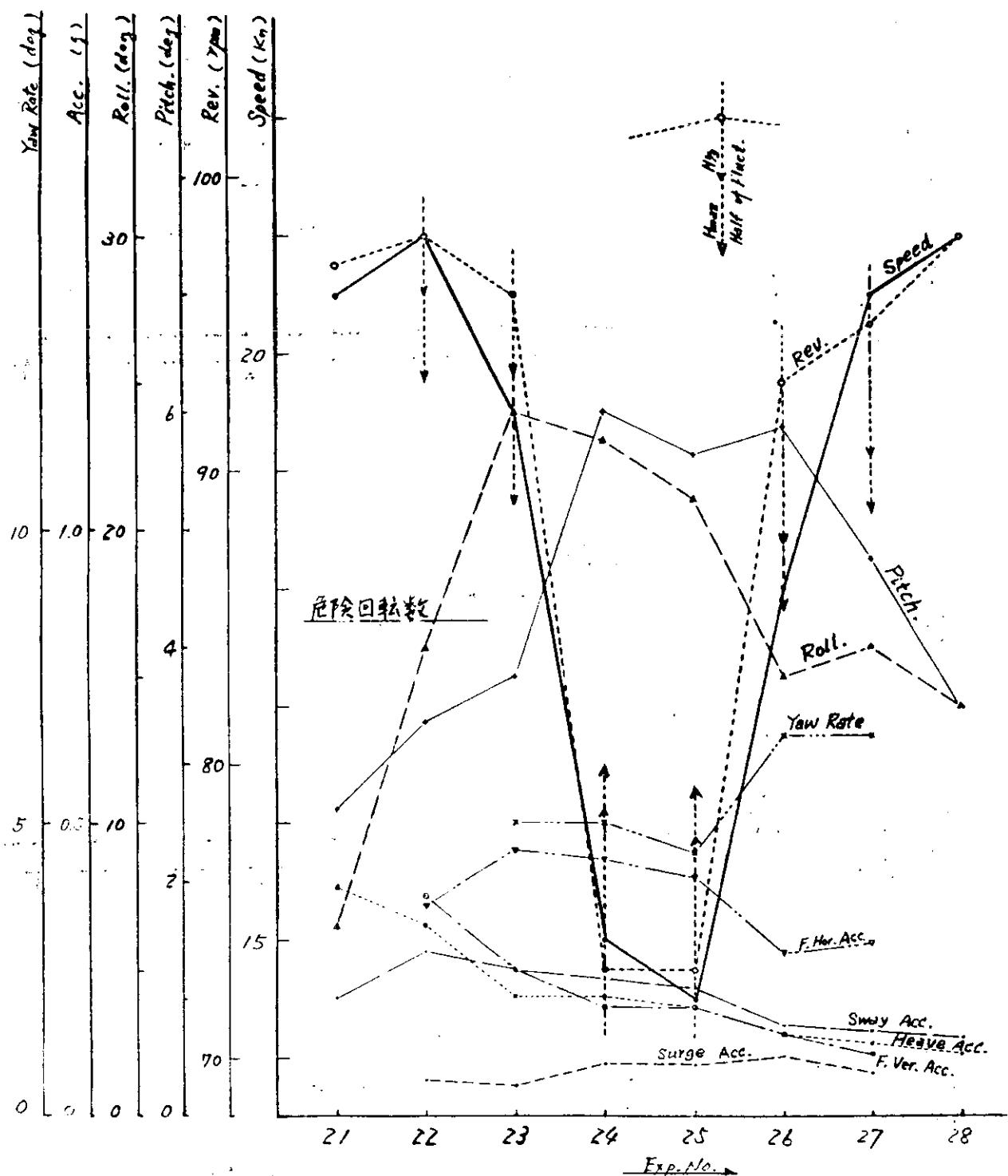


Fig. 4.1.16 大風浪下における意識的減速

## 4.2 N J 丸による実船試験結果の解析

### 4.2.1 緒 言

N J 丸は 2 機 2 軸 2 舵のニューヨーク航路の超高速コンテナ船であり、実航海における耐航性能等の諸性能が従来の 1 軸船型と比較してどの様に異なっているかを実船計測を通してデータを集録しておく意義は多大である。

このため、実航海において波浪中の船体運動等の耐航性能および船体強度に関する具体的なデータを得ることを目的として実船試験を実施した。

### 4.2.2 試験の概要

本試験は N J 丸の第 7 次航において実施した。第 7 次航の就航日程および就航状態を Table 4.2.1 および Table 4.2.2 に示す。

なお、本船の要目は下記のとおりである。

- 船種  
コンテナ船
- 主要寸法  
 $L_{PP} \times B_{MLD} \times D_{MLD} \times d_{MLD} = 247.000 \times 32.2 \text{ M}$   
 $\times 19.8 \times 11.5 \text{ M}$
- 船級  
NK
- 積載重量  
ABT. 32,850KT ( ABT 26,500KT AT 10.500  
DRAFT )
- 積載コンテナ  
1887 個積 ( 20' コンテナ換算 )
- 主機  
MITSUI B & W 12K84EF × 2 set  
( MCO 69600EHP × 119 RPM )
- 速力 ( 仕様 )  
26.2 kts AT 10.5 DRAFT  
( 8.5% MCO - 15% SM )

- 船主  
大阪商船三井船舶株式会社
- 竣工  
昭和 48 年 3 月 10 日
- 乗船計測者は次の 3 名である。  
小山義一 三井造船技術本部  
川崎邦夫 三井造船横浜造船所  
高木幹雄 九州大学応用力学研究所

Table 4.2.1 第 7 次航就航日程

月	日	出 入 港
49年 2月 11日		神戸出港
	2月 15日	日付変更線通過
	2月 25日	バルボア入港
	2月 26日	クリストバル出港 ( パナマ運河通過 )
	3月 2日	ノーフォーク入港
	3月 3日	ノーフォーク出港
	3月 4日	ニューヨーク入港
	3月 6日	ニューヨーク出港
	3月 7日	ハリファックス入港
	3月 9日	ハリファックス出港
	3月 13日	クリストバル入港
	3月 14日	バルボア出港 ( パナマ運河通過 )
	3月 25日	日付変更線通過
	3月 30日	神戸入港

Table 4.2.1 第 7 次航就航状態

	往 航 ( 神戸出港時 )	復 航 ( バルボア出港時 )
吃水		
船首	10.472	10.58
船尾	10.472	11.18
トリム	0.0	0.60
Go M	0.64	1.10
排水量	48,730 t	48,388 t
コンテナ 積載数 ( 20' コンテナ 換算 )	1,865 個	1,695 個

第 7 次航の航路図を Fig. 4.2.1(a), (b) に示す。図中には船内時間正午の船の位置および風向風速を記入した。

Fig. 4.2.2 には第 7 次航における計測日誌として、計測の線表を示した。計測は原則として 0 時、4 時、8 時、12 時、16 時および 20 時の 6 回とし、0 時、4 時および 20 時については無人計測、8 時、12 時、16 時の 3 回は乗船計測者による有人計測を行なった。

1回の計測時間は約30分間とした。ただし2, 3の例については40分程度の計測を行ない、時間がずれた時の運動の変化を見ることとした。

また、投棄式波浪計による波の計測は全部で16回計測し、解析に供した。

計測コンテナによる計測のブロックダイアグラムをFig. 4.2.3に示した。

#### 4.2.3 航海状況

ニューヨーク航路に就航している本船は、第1次航からほぼ今航と同じような全体的に南寄りのコース（往航は大圈コース、復航はハワイの沿岸近く迄）で運航しており、これまでにあまり大きなシケには遭遇していないということである。今航はこれまで7回の航海のうちでは比較的荒れた方だということであり、3回の荒天に遭遇した。

第1回目は神戸出港後3日目の風力階級7～8という海象であり、かなり激しいローリングをしているうちに、左舷プロペラがレーシングを起し、右舷に26°（クリノメータによる）傾くというAccidentがあった（このようなことは本船就航以来初めてのこと）。

第2回目は復航のハリファックス出港2日目に、やはり風力階級7～8程度で相当大きなピッティングとローリングがあった。

第3回目は神戸帰港3～4日前に低気圧に遭遇し、向波状態で相当なピッティング（最大両振幅で6°）が続くというシケを体験した。

なお、本航路の長期の海象状態を知るため、本船のログブックに記載された4時間毎の風力階級を第1次航から第7次航まで調査しこれをFig. 4.2.4に示した。

船首が波浪衝撃を受けて上下2節振動を生ずる、いわゆるWhippingの現象は往復航いづれにおいてもかなり頻繁に発生した。これは加速度計での記録のみならず、上甲板の縦曲げ応力、縦隔壁端部プラケットの応力およびハッチコーナーの応力などの計測中にも、歪計にその応答がはっきり確認でき、その振動数は約48cpmで船体固有振動数（上下2節振動）の推定値によく一致している。しかしブリッジにおいては相当大きい衝撃の時でなければ、Whippingの影響からくる前後振動（いわゆるshudder）を身体に感ずるようなことはなかった。

また本船は高速かつ大型船であるために、波長が短かい波に対しては動搖が小さく、小波の中を突き進んで行く感じであるが、このような時には波浪衝撃を船首船側に受ける場合が多く、左右方向にも揺れるいわゆるshudder現象が発生しているようであった。

第7次航では、これらwhippingあるいはshudder現象をたびたび体験したが、低次振動が連続的に生じるいわゆるspringingの状態はなかった。

#### 4.2.4 一次解析

一次解析は本部会で製作された船載式高速解析装置<sup>1)</sup>により行なった。

この解析装置による解析方法等はすでに造研報告<sup>2)</sup>で詳細に報告されているので省略する。またこれらを使って得たデータの図示は、すでに報告されている形式に従って行なったが、紙面の関係で太平洋航行中のものに限って代表的なものを報告することとする。

##### (1) 太平洋における海象及び運動

太平洋航行中における風力階級、目視観測による波浪階級及び計測されたピッティング、ローリングの有義値をデータベースにFig. 4.2.5に示した。

この図から、往航時は追風追波状態が多く、逆に復航時は向い風、向い波状態が多いことが判る。また往復航とも遭遇した海象は同程度であるにもかかわらず往航時に比してかなり大きいことが示された。また、運動スペクトラムの最大値を示す周波数の発現頻度をFig. 4.2.6に示したが、ピッティングに関しては往復航で明らかな差が見られ往航時にはT=30秒あたりに発現頻度が集中しているのに反し、復航時にはT=6秒前に分布しているのが特徴的である。これは太洋波のスペクトラムが7～9秒にそのエネルギーのPeakを持っている（Fig. 4.2.9）ことから

ピッキングが遭遇波浪の影響をかなり敏感に受けていることが考えられる。一方ローリングに関しては、往航がピッキングと同様  $T = 30$  秒前後であるのに対し、復航時に  $T = 30$  秒前後のものと同時に  $T = 100 \sim 120$  秒のピークの発現頻度が顕著に見られる。このように 2 つの周波数帯が見られるのはローリングの固有周期は 27 秒前後であり出合周期 6 ~ 8 秒には応答出来ず固有周期附近でローリングしたことと、ピッキングにも 120 秒程度のものが見られることからローリングが小さいのでヨーイング（又はオートパイロット）の固有周期の影響を受けたものと思われる。今回の試験ではヨーイングの計測が計測機器の故障のため計測不能であったがラダーの動きの大半が 120 秒前後にスペクトラムのピークがあった。

#### (2) 船首附近の圧力計測

船首等に取りつけた圧力計出力の一例を Fig. 4.2.7 及び Fig. 4.2.8 に示す。

Fig. 4.2.7 では小さな pitching 時の例を示しているが、圧力波形の周期が途中で変化しているのが見られる。この時のピッキングの周期はピーク間周期で 7.4 秒、0 クロスで 8.0 秒であり、一時期波による強制ピッキングを受けたのではないかと推測される。また詳細な解析は未だ完成していないが、吃水上の圧力計 P-2, P-5 が断続的に接水していることから、この時の船首と水面の相対位置の割出しにかなり期待のもてるデータが得られた。

また Fig. 4.2.8 には whipping が生じた時の船底圧力、加速度、上甲板応力を示した。このデータに見られる whipping の周期は船体の 2 節振動の推定値である 48 cpm とよく一致している。

#### (3) 波高計測

波高の計測は全部で 16 回実施したが、解析に供し得るデータを得たのは 7 回である。Fig. 4.2.9 (a)~(g) にそのスペクトラムを同時計測したピッキング、ローリングのスペクトラムと重ねて示した。波高計測は投棄式であるため略定点観測値であり、船体運動と一義的に結びつかないが、運動に対する一つの尺度と考えられる。この計測結果を見ると波周期は、いづれも 6 ~ 8 秒程度で、波長にして 50 ~ 100 m 程度の波が主たる波であったと考えられる。

（図に示した波スペクトラムは、波の周波数ベースに示されており、直接ピッチロールと比較出来ない。— 船速と波速の関係で出合周波数に折返し点が出るため）

#### (4) 帯域巾パラメータと運動振巾

太平洋航行時の帯域巾パラメータ  $\epsilon$  の値を Fig. 4.2.10(a), (b) に示し対応するピッキング、ローリングは対応する振巾  $H$ ,  $H^{1/3}$ ,  $H^{1/10}$  を Fig. 4.2.11(a)~(d) に示す。一般に帯域巾パラメータ  $\epsilon$  が  $0 \leq \epsilon \leq 0.6$  程度の時は、 $H$  と  $H^{1/3}$ ,  $H^{1/10}$  の関係はレイレー分布によって得られる関係を示し、 $\epsilon$  がこれより大きい場合はガウス分布のそれに適合するとされている。解析結果によると Fig. 4.2.10 に示すごとくローリングは往復航とも  $\epsilon \approx 0.9$  を示し、pitching も往航に関しては  $\epsilon \approx 0.9$  を示しているが、Fig. 4.2.11 に示すごとく  $H$  と  $H^{1/3}$ ,  $H^{1/10}$  の関係はよく  $\epsilon = 0$  のレイレー分布の関係を示している。これは本解析に用いた高速解析装置で行なっている時系列の振巾  $H$  の読み取り方が、正の極小値及び負の極大値を無視しているため、運動の上に乗っているリップルが無視され狭帯域に変形されたために起ったものと思われる。

### 4.2.5 む す び

今回の実船試験は上記に報告した通り一応の成果をおさめた。しかしながら今回の供試船が 2 軸船であるため、従来の一軸船との比較を試みることも一つの大きな目的であるが、詳細な考察は別の機会にゆずりたい。

終りに本試験の遂行にあたって供試船を提供いただいた大阪商船三井船舶株式会社をはじめ、「N. J. 丸」の船長以下乗員各位の絶大なご協力に深く謝意を表します。

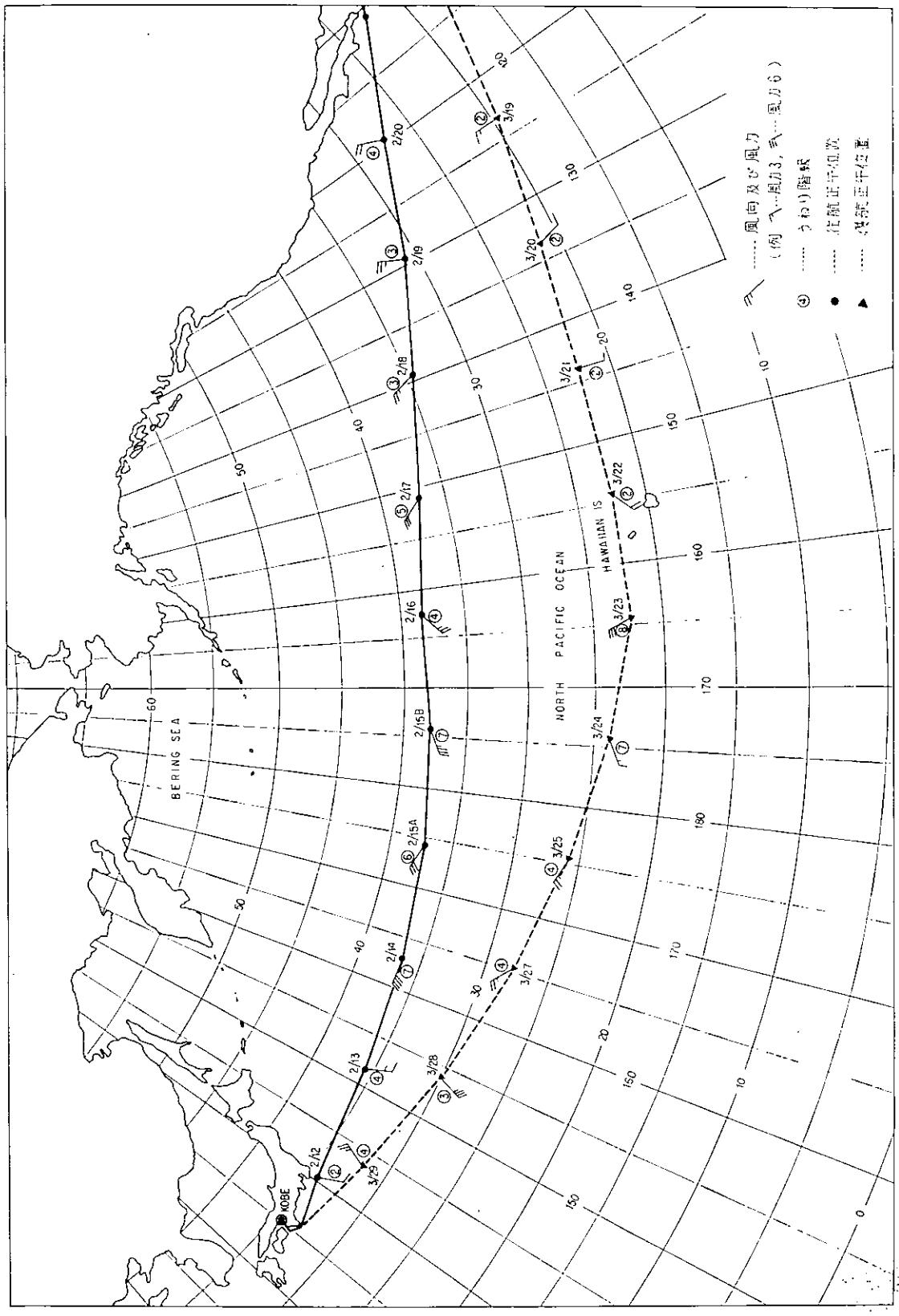


Fig. 4.2.1 (a)

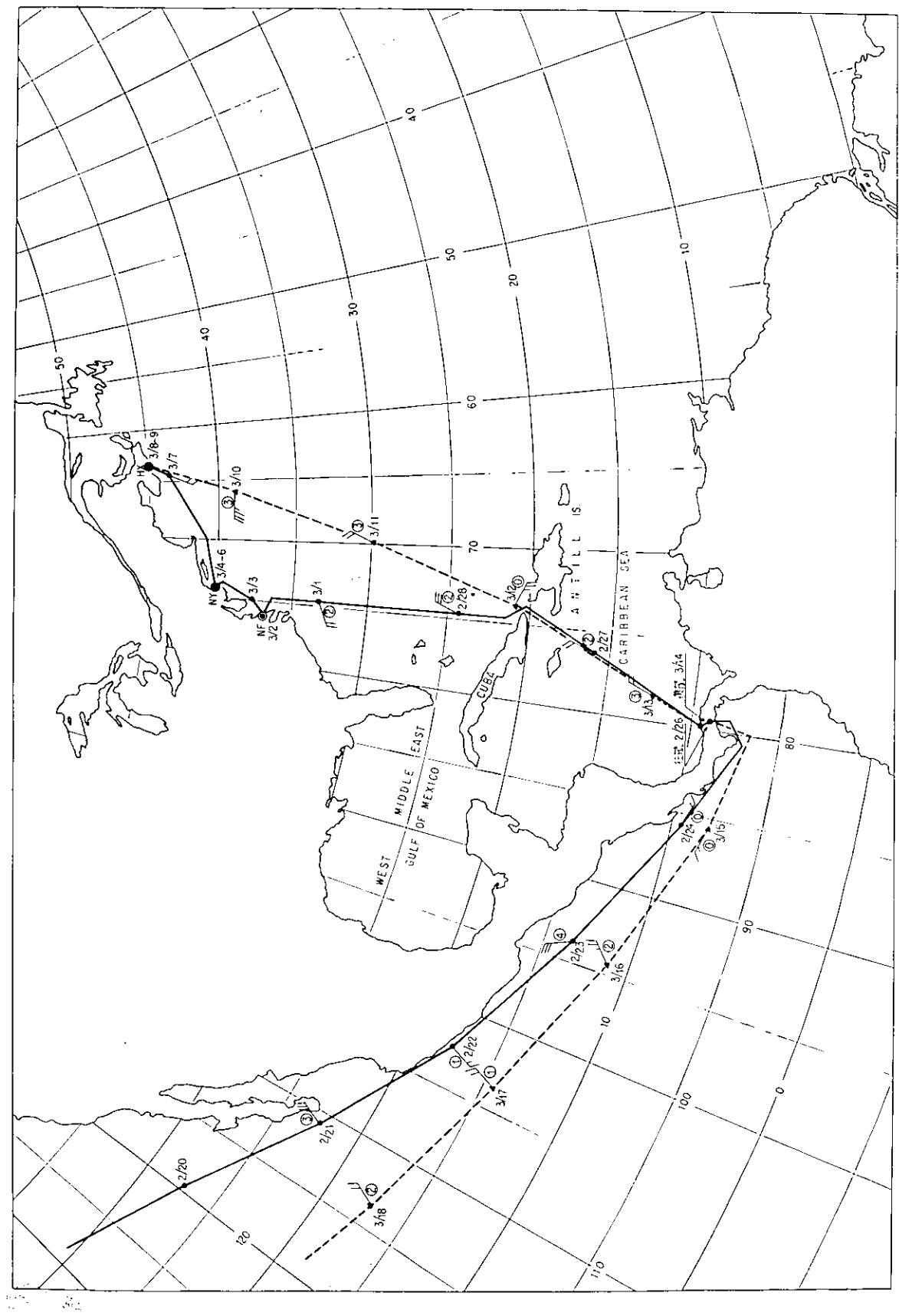
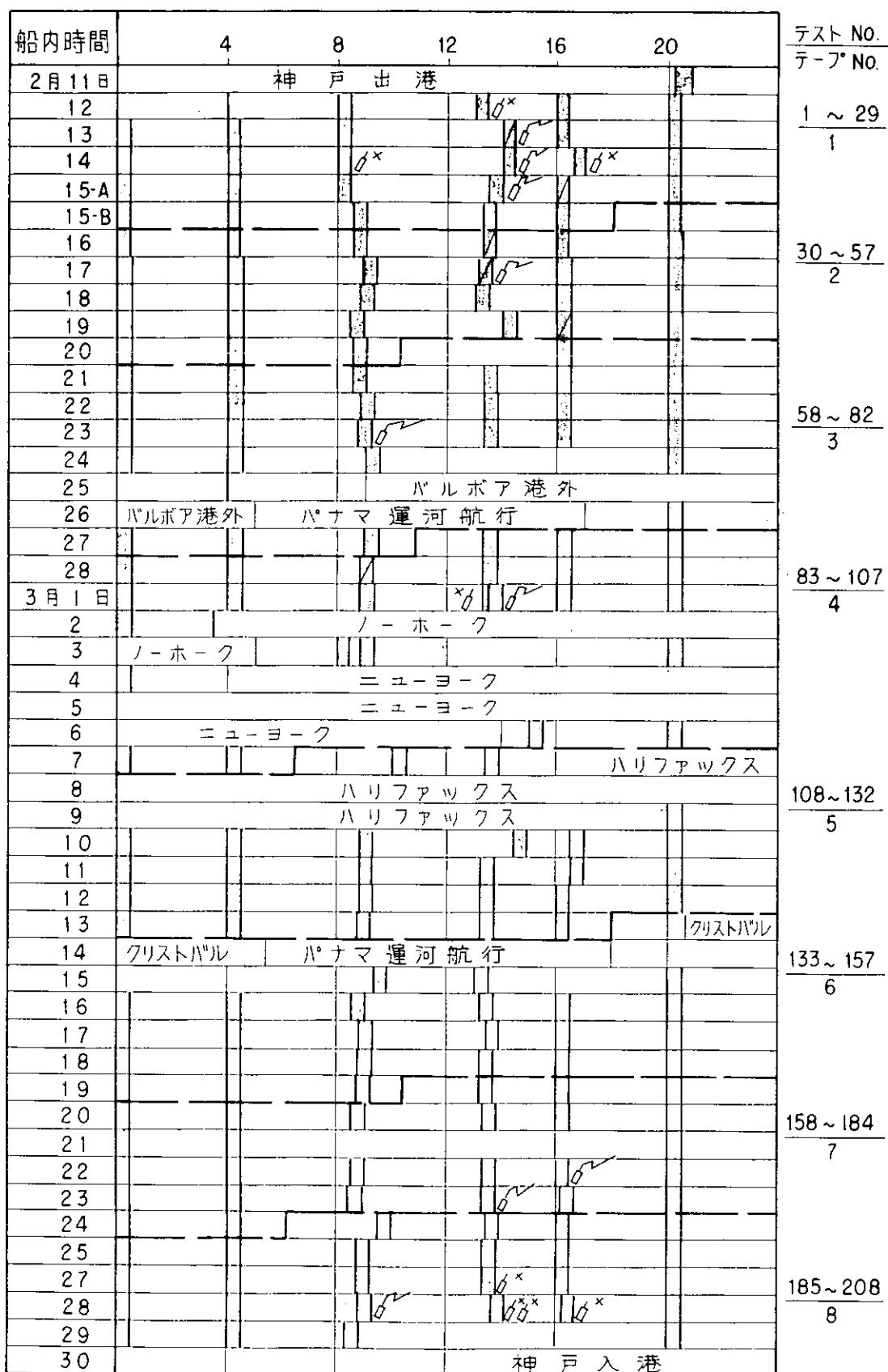


Fig. 4.2.1 (b)



注：□ 計測時間

○ 波浪計計測 可  
○× " 否

Fig. 4.2.2

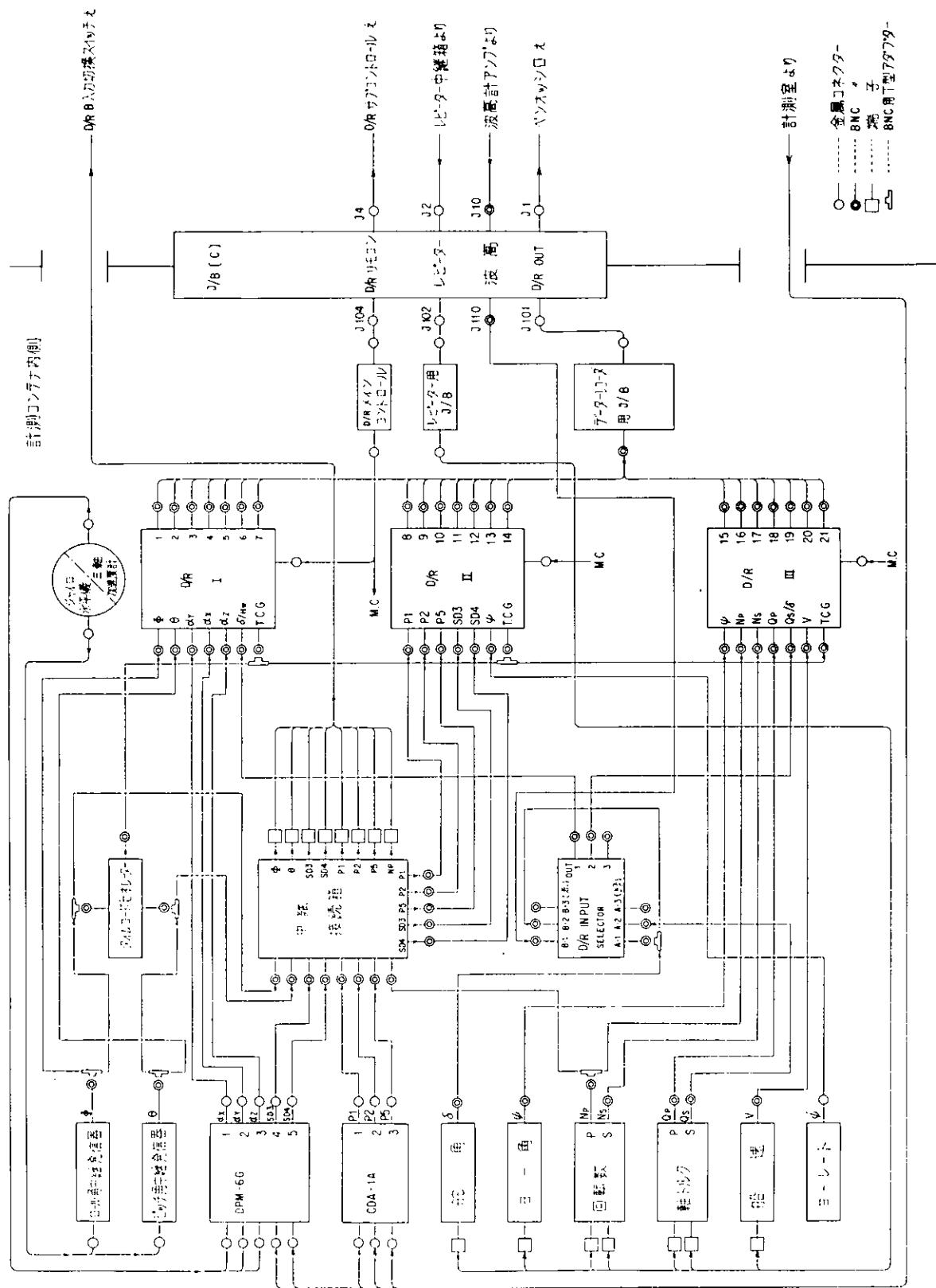
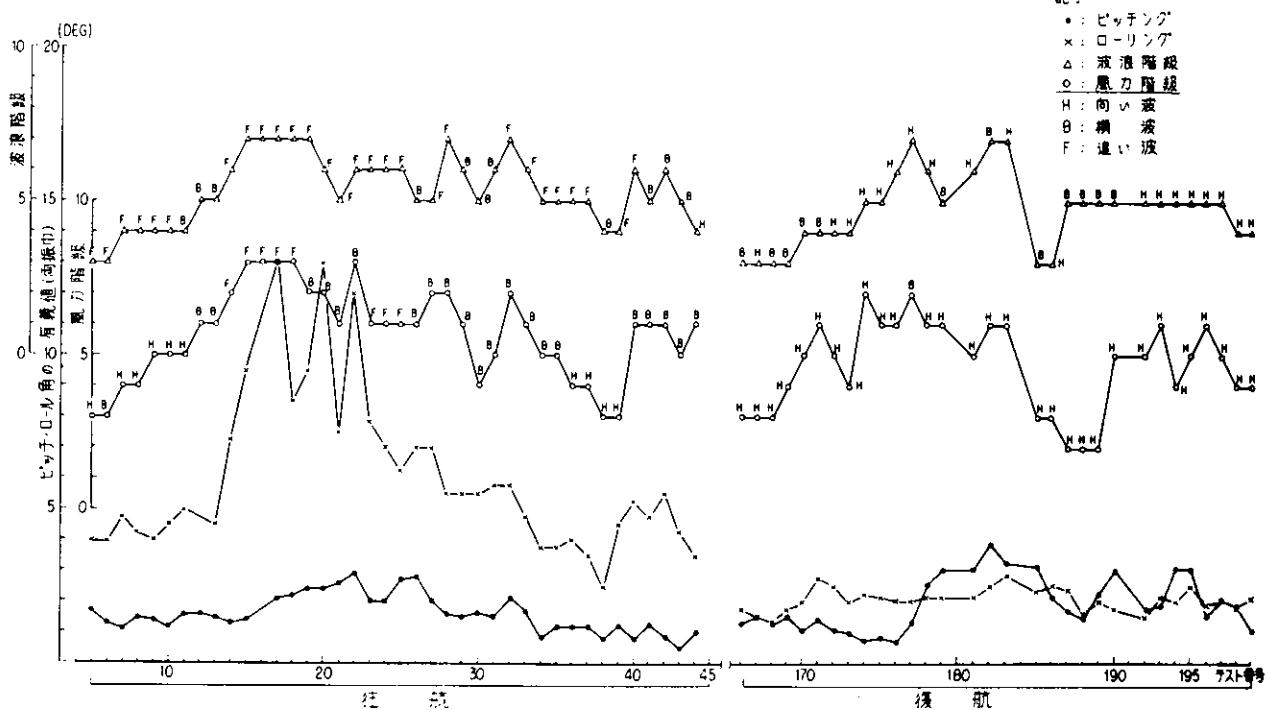
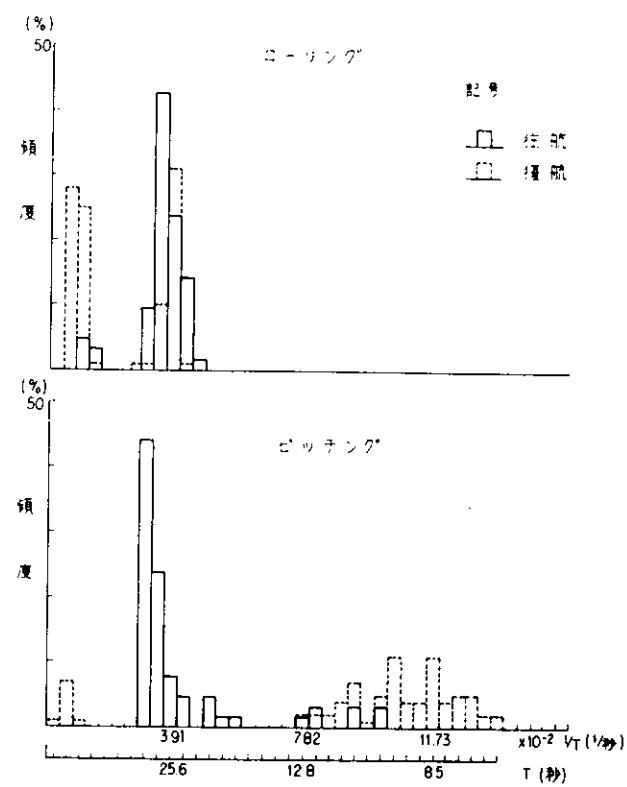
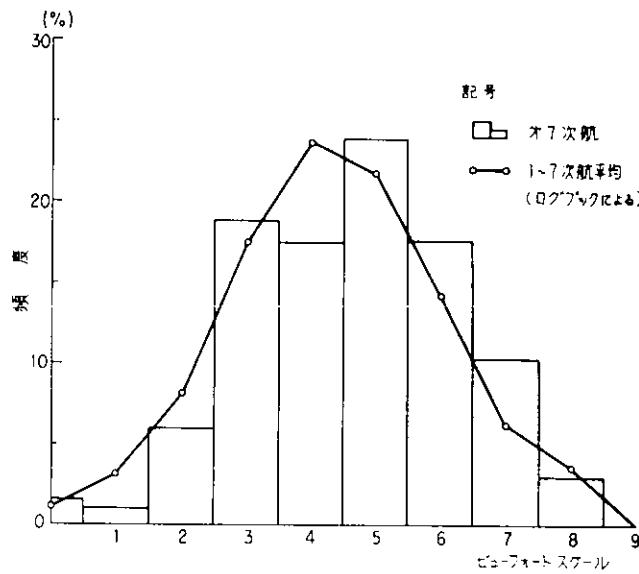


Fig. 4.2.3



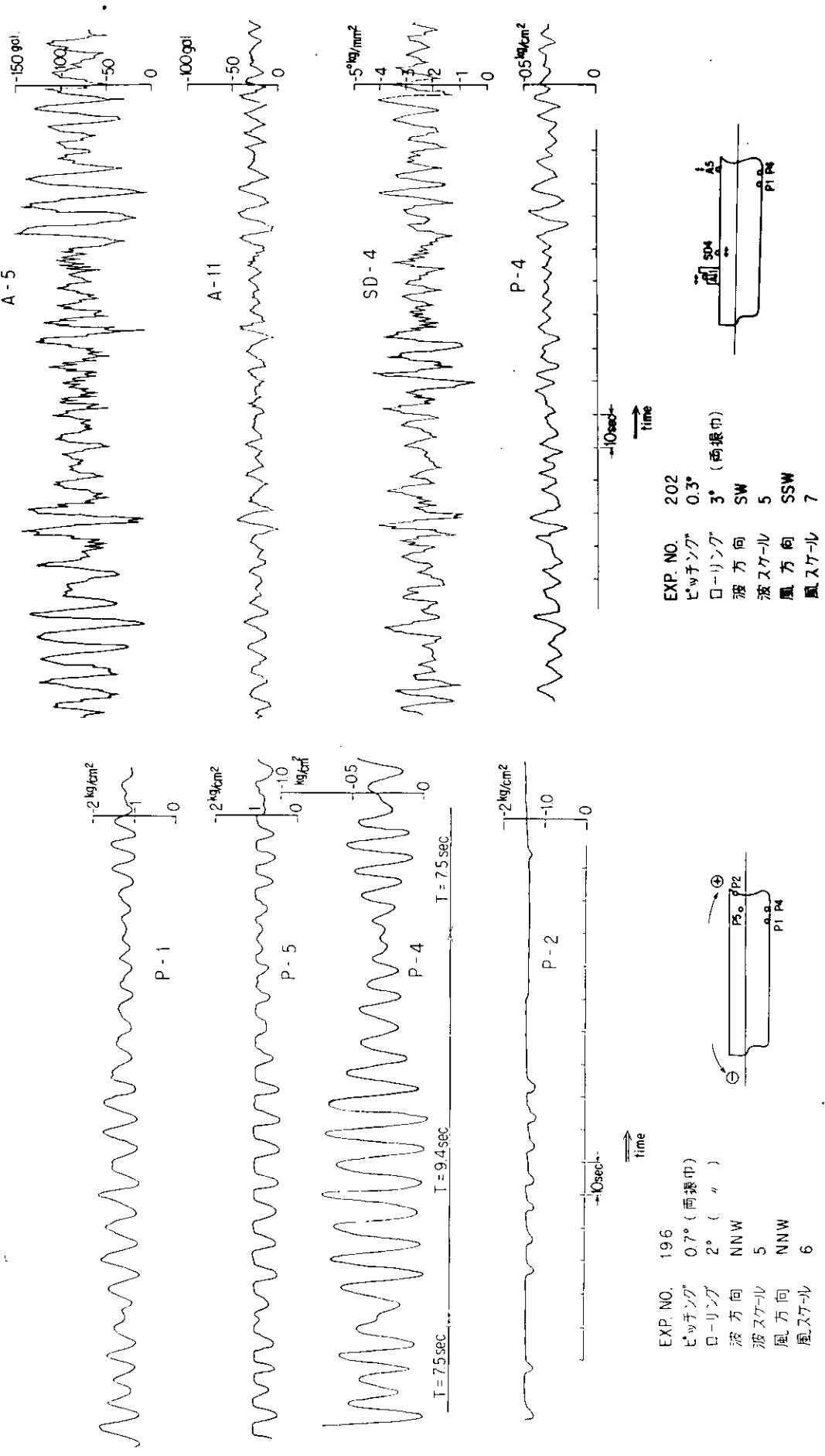


Fig. 4.2.7

Fig. 4.2.8

EXP NO. NJ009

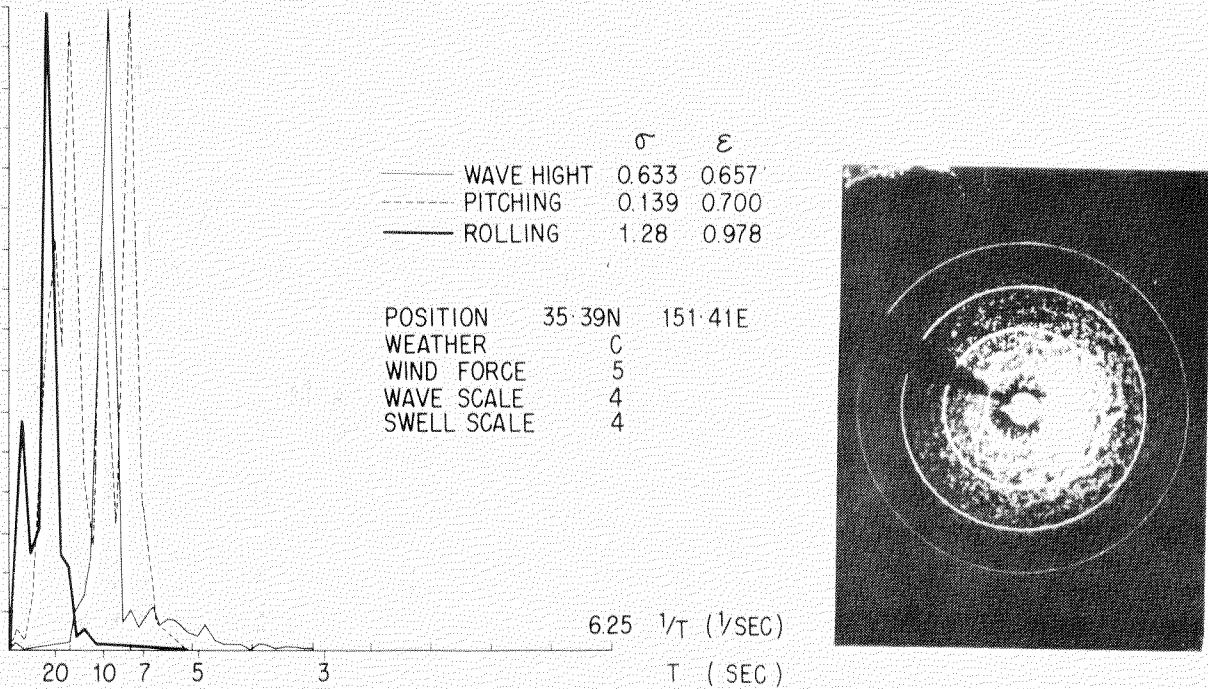


Fig. 4.2.9 (a)

EXP NO. NJ022

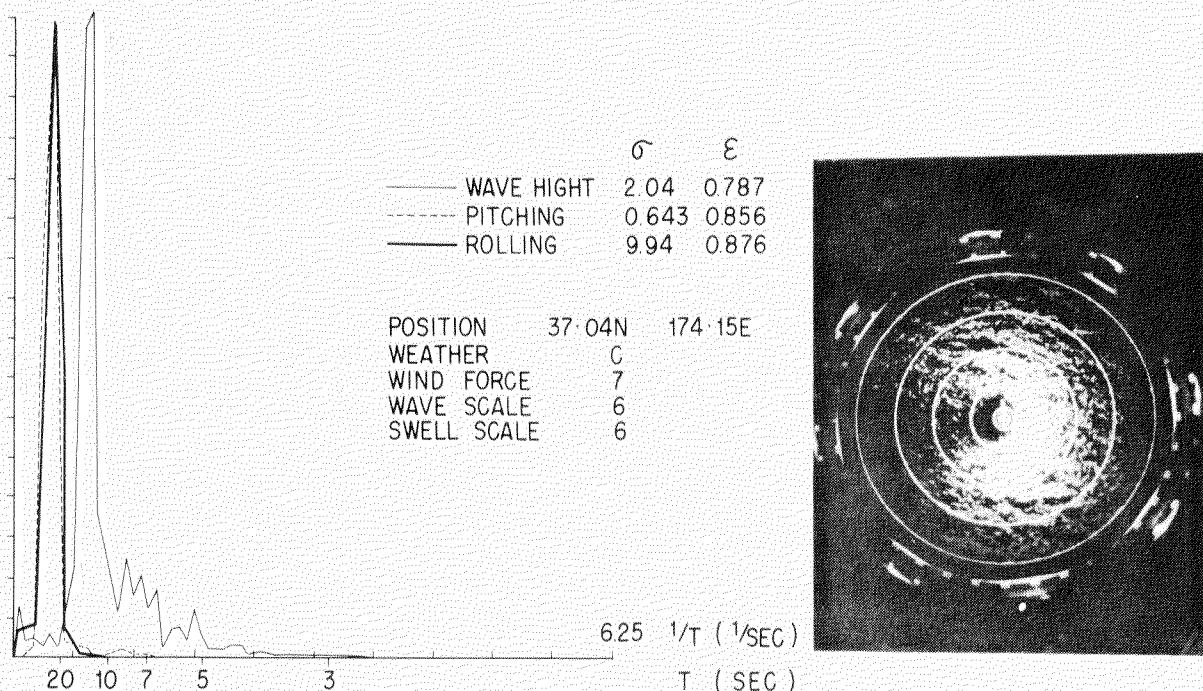


Fig. 4.2.9 (b)

EXP. NO. NJ040

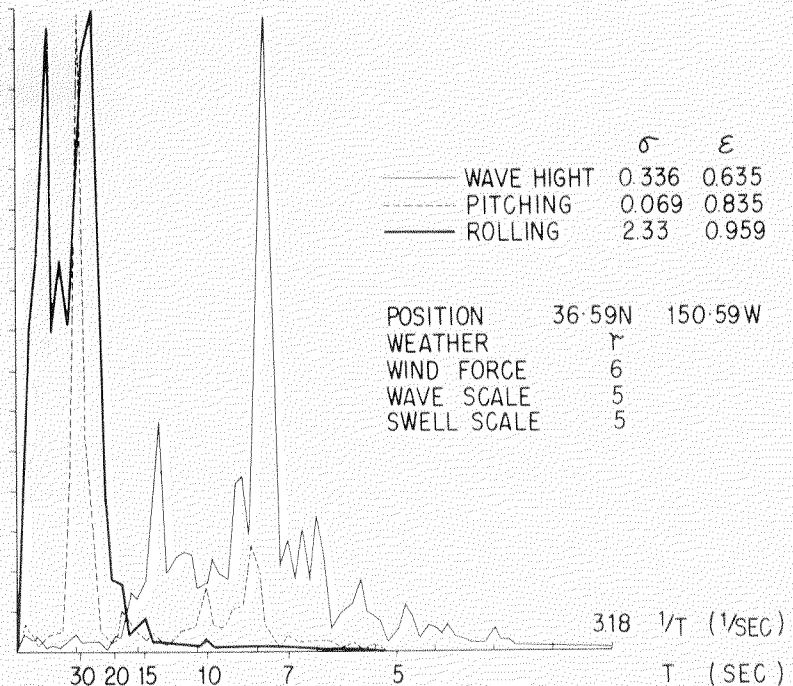


Fig. 4.2.9 (c)

EXP. NO. NJ072

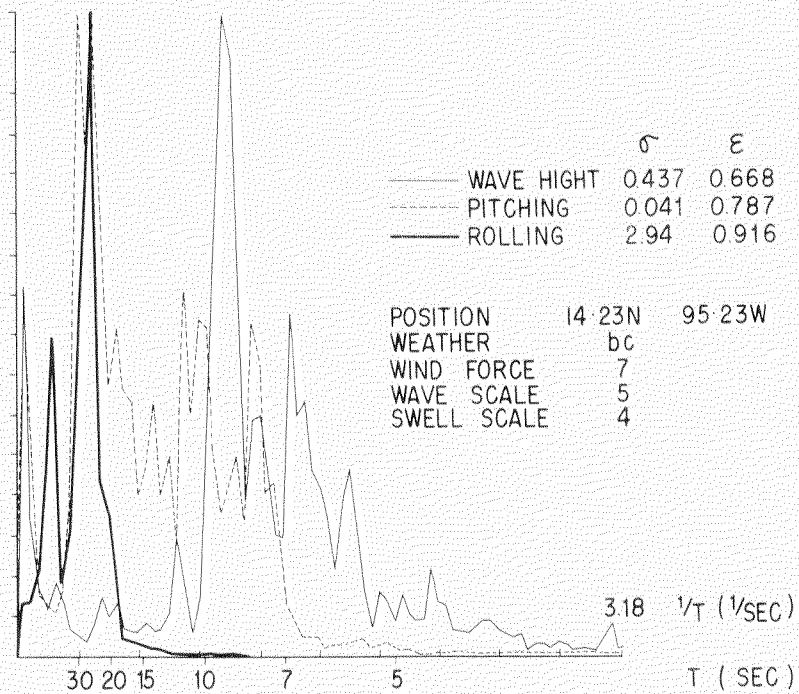


Fig. 4.2.9 (d)

EXP. NO. NJ 096

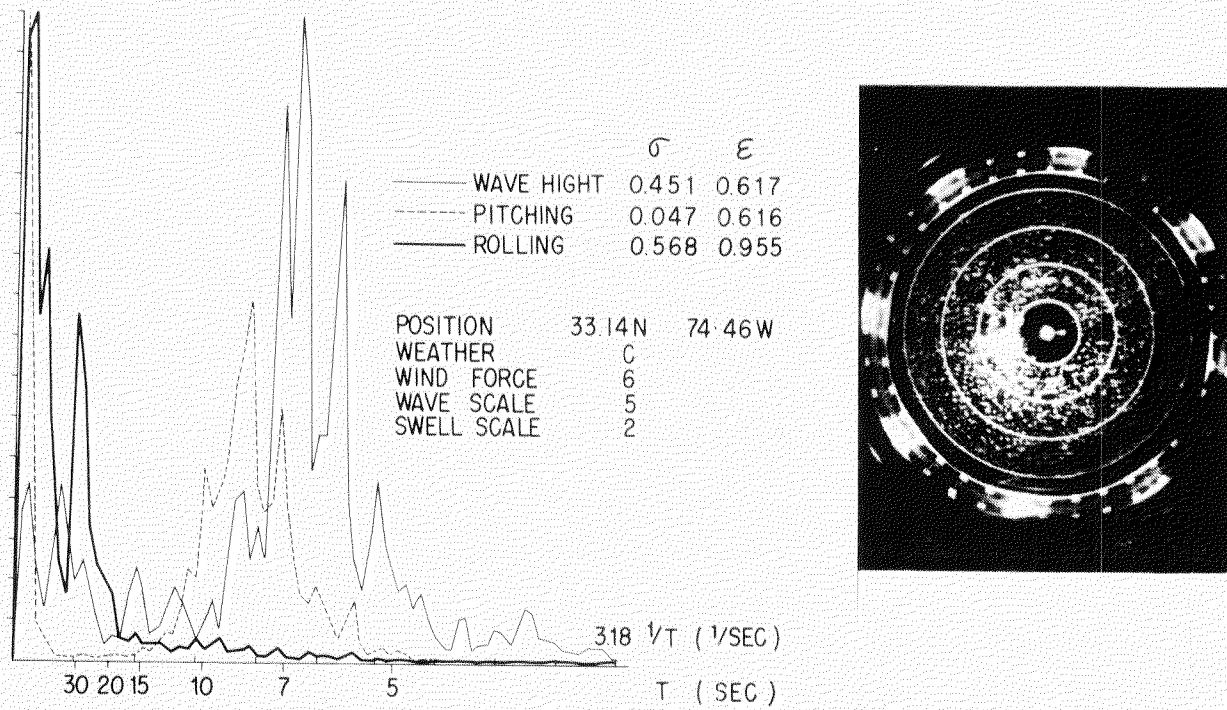


Fig. 4.2.9 (e)

EXP. NO. NJ 174

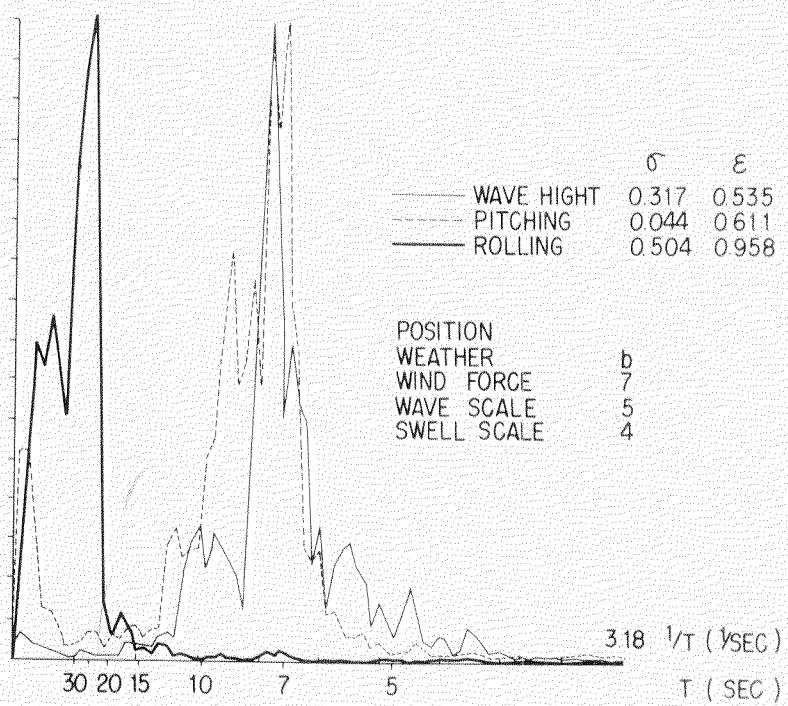


Fig. 4.2.9 (f)

EXP NO. NJ179

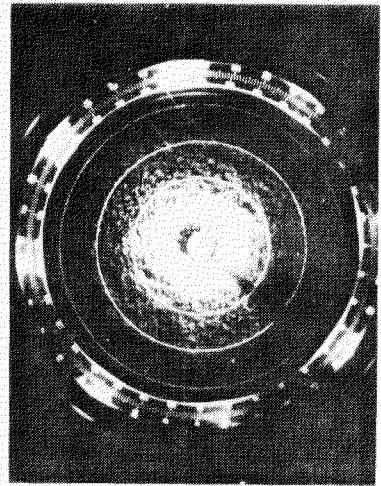
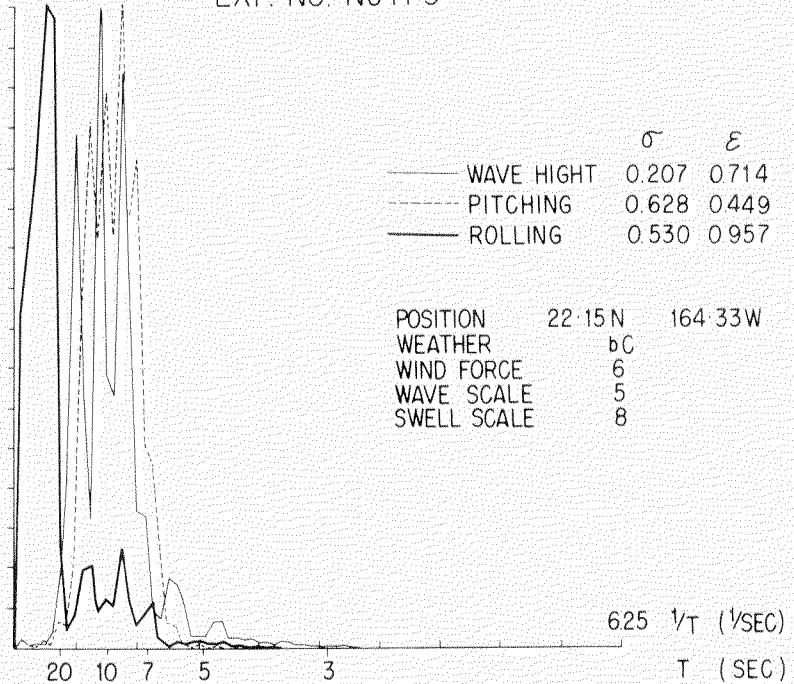


Fig. 4.2.9 (g)

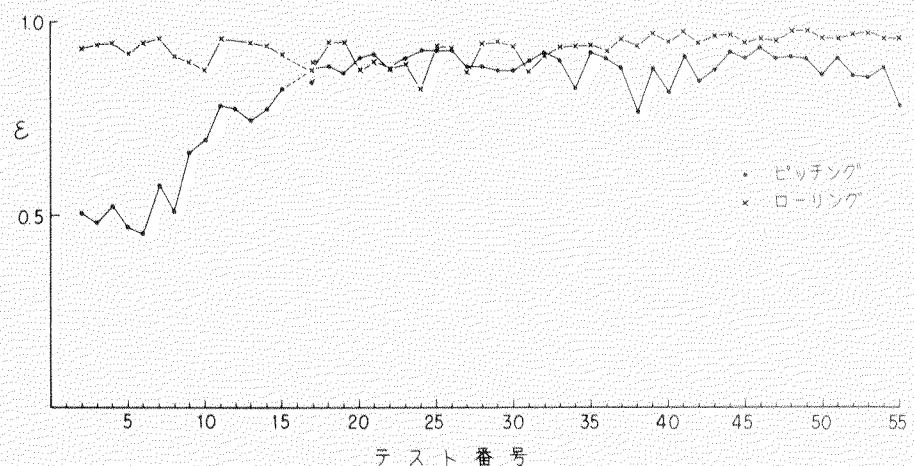


Fig. 4.2.10 (a)

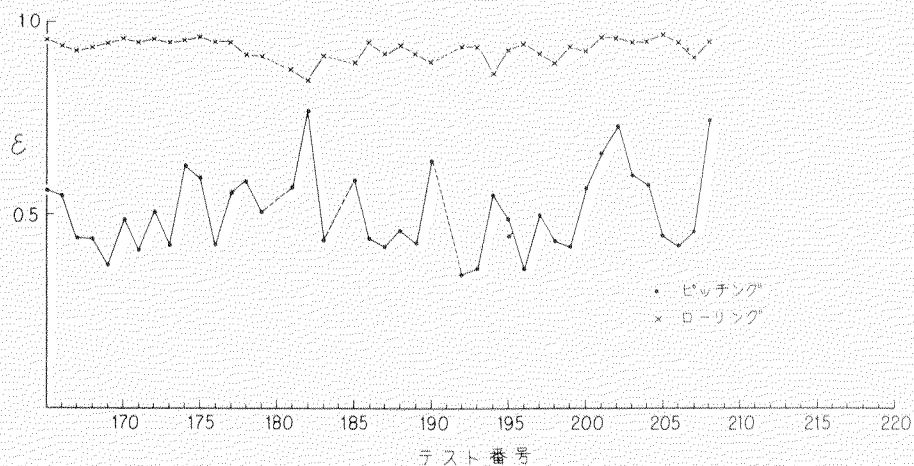


Fig. 4.2.10 (b)

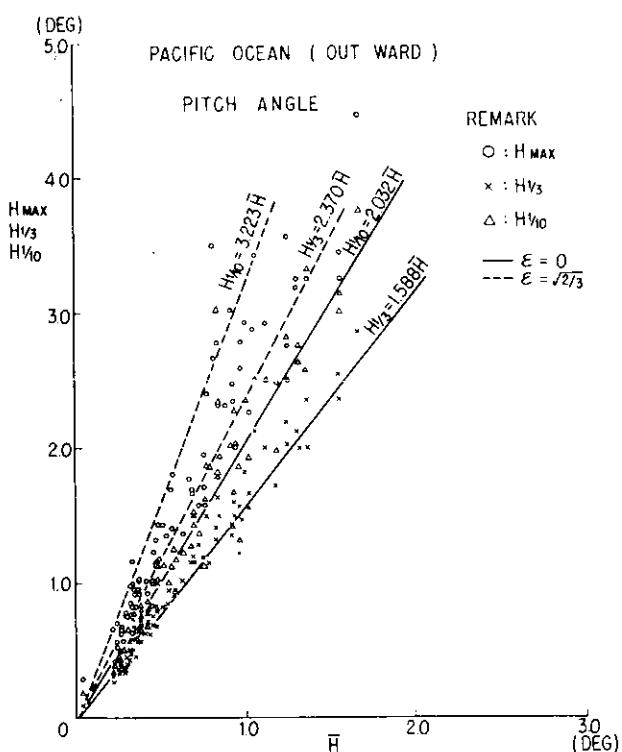


Fig. 4.2.11 (a)

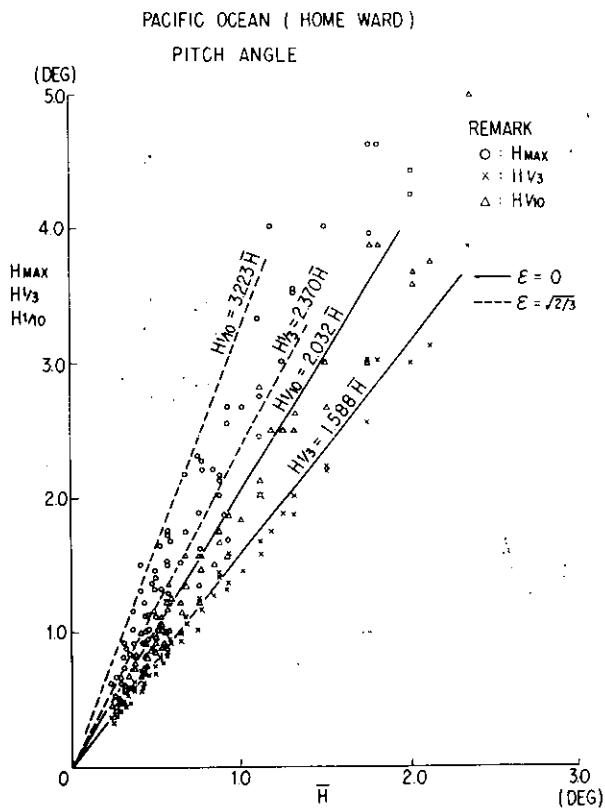


Fig. 4.2.11 (b)

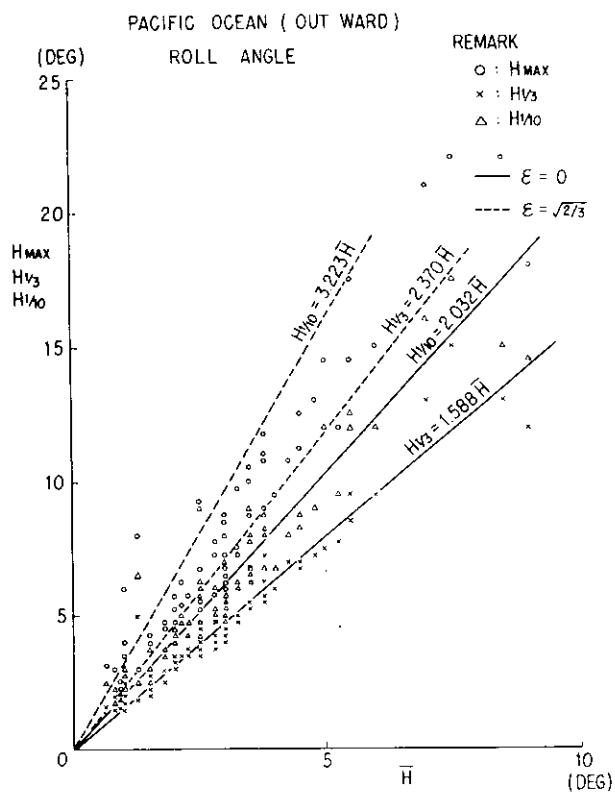


Fig. 4.2.11 (c)

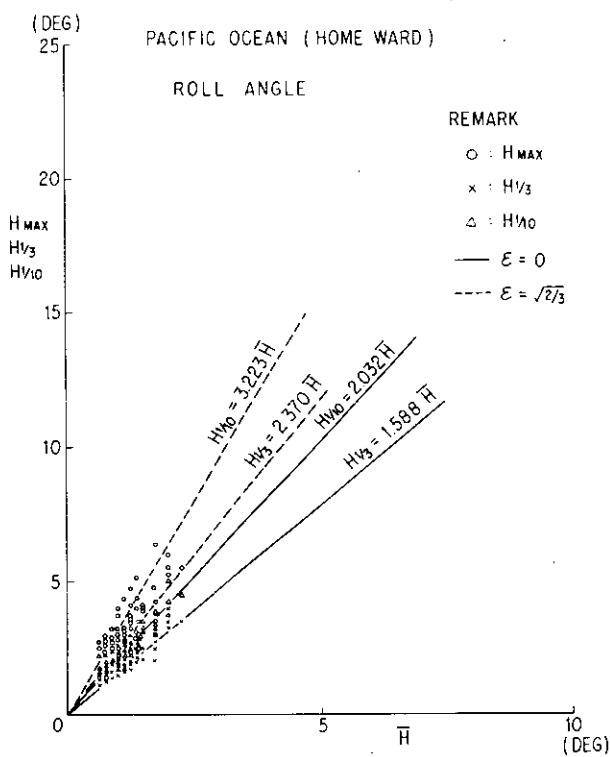


Fig. 4.2.11 (d)

#### 4.3 H. I. 丸による実船試験（1次航）

##### 4.3.1 経緯

本年度は供試船を一隻に定め、連続二航海にわたって実船試験を実施した。本節では、二航海の内の第一次航に関する報告を行う。

本実船試験の準備工事のうち、船体へのセンサーの取付け及び配線工事等は昭和48年より、日本鋼管鶴見造船所にて実施し、計測コンテナ及び波高計の調整修理工事は技術研究所にて実施した。

##### 4.3.2 供試船、試験期間、計測員

供試船は日本郵船のP NW航路の大型コンテナ船H.I.丸で、主要目は下記のとおりである。

長さ(垂線間)	$L_{pp}$	200 m
幅	B	31 m
深さ	D	16.5 m
吃水(満載)	d	10.5 m
載荷重量トン		23,664 Ton
主機		SULZER 9 RND 105 × 1
プロペラ		5翼 × 1
回転数		MCR 108 RPM
満載航海速力		22.95 Kt
コンテナ積載数(20'換算)		1,277個

往航及び復航時に於ける本船の状態を表4.3.1に示す。又、コンテナの積付け状態をFig. 4.3.1に示す。本試験の実施期間は昭和49年11月末～12月末である。

本試験における航路をFig. 4.3.2に示す。図中の点の位置は船内時間の正午における本船の位置を示しており、矢印は風力階級及び風向を示している。

計測員として乗船した者は下記の4名である。

定兼 広行(大阪府大) 内藤 林(阪大) 後藤 隆昭(日本鋼管) 山本 修(日本鋼管)

##### 4.3.3 計測項目、計測装置および計測時刻

本試験での計測項目は下記のとおりである。

ピッチ角	変動水圧(2点)
ロール角	衝撃水圧(2点)
ヨー角速度	上甲板上応力(8点)
サーチ加速度	船速
ヒーブ加速度	舵角
スウェー加速度	主機回転数
艏上下加速度	軸トルク
艉上下加速度	風速
波高	

以上の項目を、計測コンテナ内に設置した4台のデータレコーダ(ANA-LOG7)に収録した。計測システムのブロック図をFig. 4.3.3に示す。

本試験では変動水圧を2点、衝撃水圧を2点、上甲板上応力を8点計測したが、これらの各センサーの取付位置と、計測コンテナ、上下加速度計、屋外カメラ、波高計ランチャーの設置位置をFig. 4.3.4に示す。

これらデータレコーダによる計測の他に、少し荒れた海象の場合には、定時計測時に本船のレーダをボラロイド写真

により撮影し、波長、波向きの記録をとった。又、定時計測時には、目視波高（風浪、うねり）、波向き、真風向、真風速を計測日誌に記録した。

定時計測は船内時間で3時、7時、11時、15時、19時、23時の6回とし、7時から19時までは有人計測、23時と3時は無人計測とした。1回の計測時間は40分とし、荒れた海象の場合には60分とした。なお、全く平穏な場合には計測を中止した。

#### 4.3.4 計測経過および感想

本試験における計測状況をTable 4.3.2に示す。往航は、11月25日に大井を出港し、26日まで大陸からの移動性高気圧を追いかける形で航行し、穏かであった。27日から28日(B)の間は、上記の高気圧の西に発生した低気圧からのひた寒冷前線に追いかけられ、追いぬかれる形で航行し、常に追風追波状態であった。29日と30日は、上記の低気圧を追いかける形で航行し、風力階級9、波高8m～9m、波長200～260mの追風追波状態の海象に遭遇した。これが本試験を通じて最も荒た海象となり、船体運動も最大値でピッチが両振巾で8°～9°、ロールが両振巾で30°程度を記録した。

この後、低気圧から遠ざかるに従って海象は穏かになり、12月2日の午後10時にシアトルに入港した。

復航は、12月9日朝ポートランドを出港し、同日午後にコロンビア川を出て太平洋に入った。北緯50度、西経175度付近に非常に発達した低気圧があり、相当、広い範囲にわたって荒い海象になっていると予想された事と、前航でベーリング海を通ったところ非常に穏かであった事から、今回もベーリング海を通る事になった。

12日正午すぎにベーリング海に入るまでは、低気圧の間をぬって、斜向い波中を航行した。本試験で初めての斜向い波ではあったが、波長が100m程度、波高が大きくて5～6mであったため、大きな船体運動ではならなかったが、船首部に波がぶつかる事により、若干の衝撃圧及びホイッピングが発生した。

13日夕方ベーリング海をぬけたが、この時点では日本近海に比較的大きな低気圧があったため、これを避けて針路を若干北側にとった。このため15日夕刻まで非常に穏かな海象のなかを航行することになった。この間は船体運動が殆どなく、計測は中止した。

15日夜半から16日にかけて、低気圧の北側から西側へまわりこむ様に航行したため、風力階級6、波長130m、波高6～7mの追風追波のなかを航行することになった。しかし、往航で出会った海象にくらべれば大したものではなかった。

この後、日本に近づくに従って海象は穏かになり、18日夜無事神戸港に入港し、第一次航を終了した。

本試験では、Table 4.3.2に示すように波高計を6回投下し、その内3回成功した。成功した場合には、それぞれ40分から50分間波高を計測できた。

本試験での計測例として、11月29日午前11時からの定時計測で得たデータをFig. 4.3.5～4.3.8に示す。

Fig. 4.3.5は同日の天気図、Fig. 4.3.6はレーダ写真、Fig. 4.3.7は海象の写真、Fig. 4.3.8はペンレコーダによる記録である。

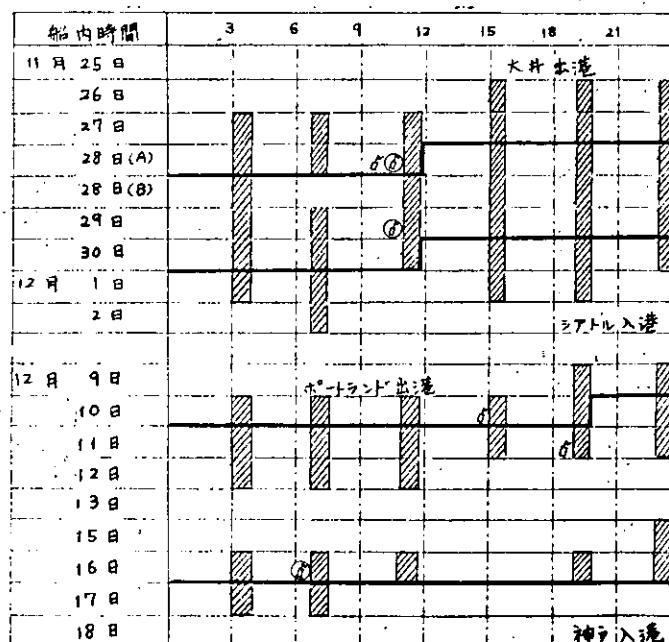
又、本試験より新らたに軸トルク計が追加使用されたが、トルク変動及びレーシング状態の良好な記録が得られた。この記録例をFig. 4.3.9に示す。

本試験では、上記のように貴重なデータを多数収録することができた。これは日本郵船株式会社及びH.J.丸の船長以下乗組員の方々の本試験に対する積極的な協力によるものであり、ここに改めて謝意を表します。

Table 4.3.1 "H. I. 丸" Ship Conditions

VOYAGE	OUT VOYAGE	HOME VOYAGE		
PORT	TOKYO	SEATTLE	PORT LAND	KOBE
dt (M)	7.43	7.34	7.82	7.43
da (M)	8.11	7.76	8.72	8.64
dm (M)	7.80	7.56	8.29	8.06
TRIM (M)	0.69	0.42	0.89	1.20
DISP. (T)	25,304	24,343	27,372	26,419
KG (M)	11.75	12.09	11.87	12.15
GG. (M)	0.44	0.28	0.26	0.27
G.M. (M)	1.89	1.78	1.83	1.59

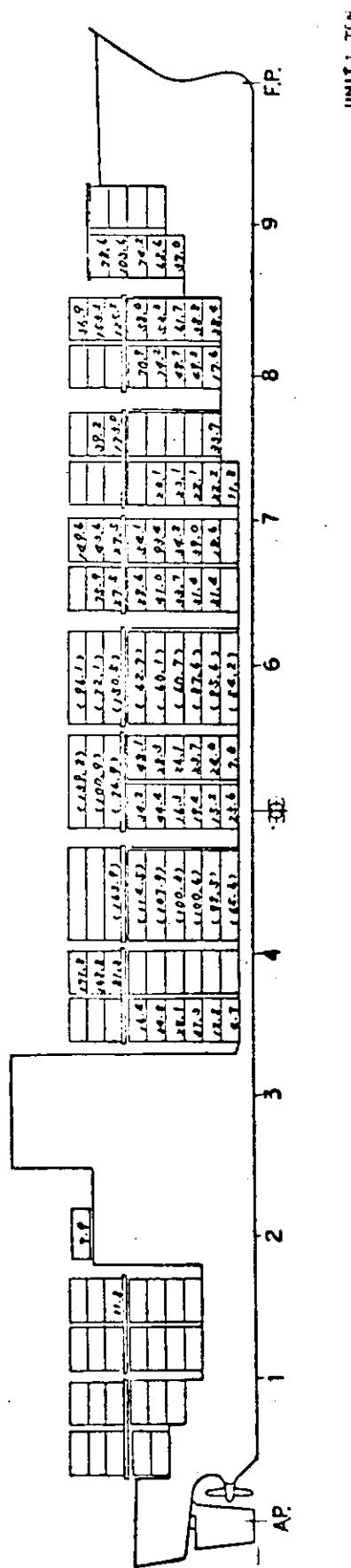
Table 4.3.2 "H. I. 丸" 計測日誌



 計測時間  
 波高計(実験)  
 波高計(成功)

九  
往

K. PRESTON & CO. LTD.



- 150 -

復航

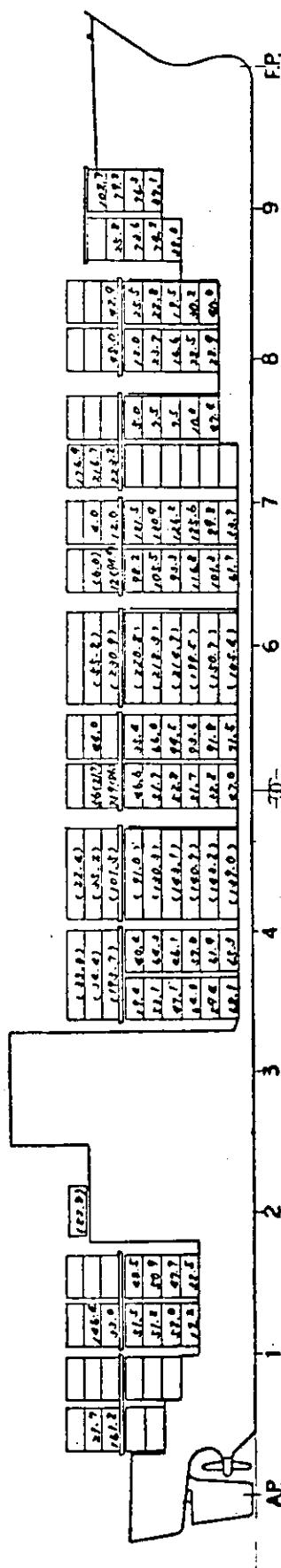
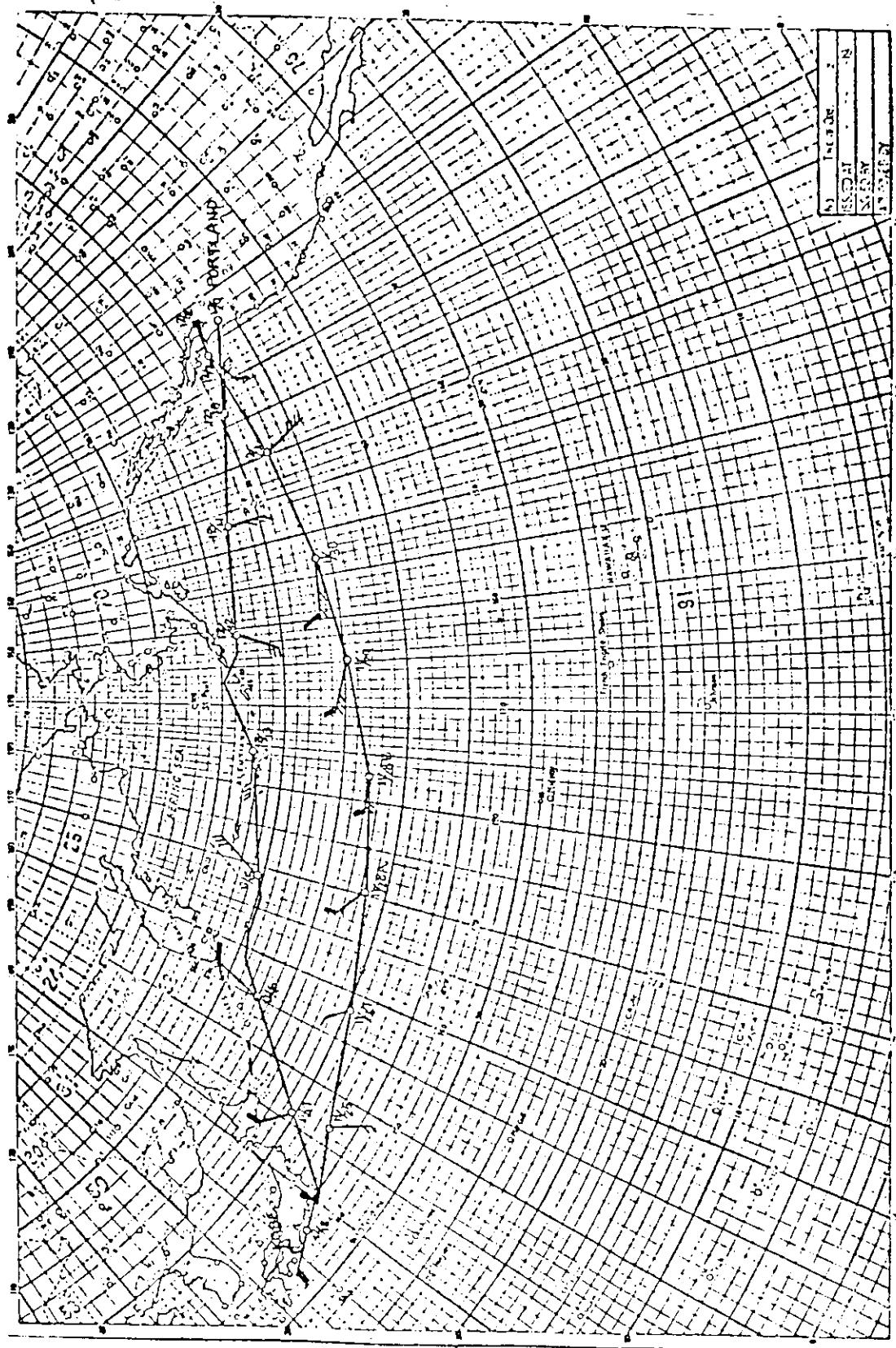


Fig. 4.3.1 コンテナ一積付状態

Fig. 4.3.2 航路圖



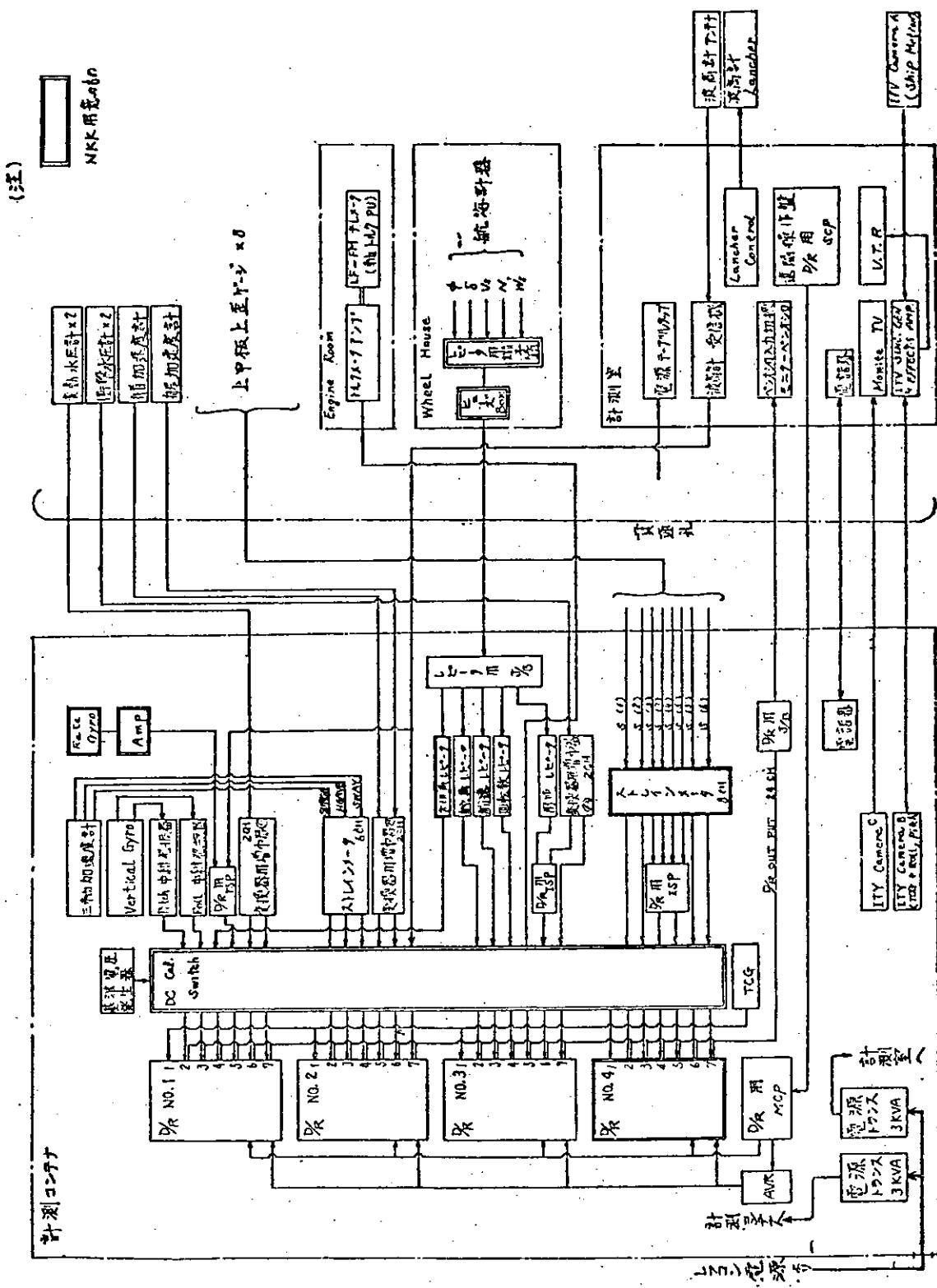


Fig. 4.3.3 H I 丸実船試験プロツク図

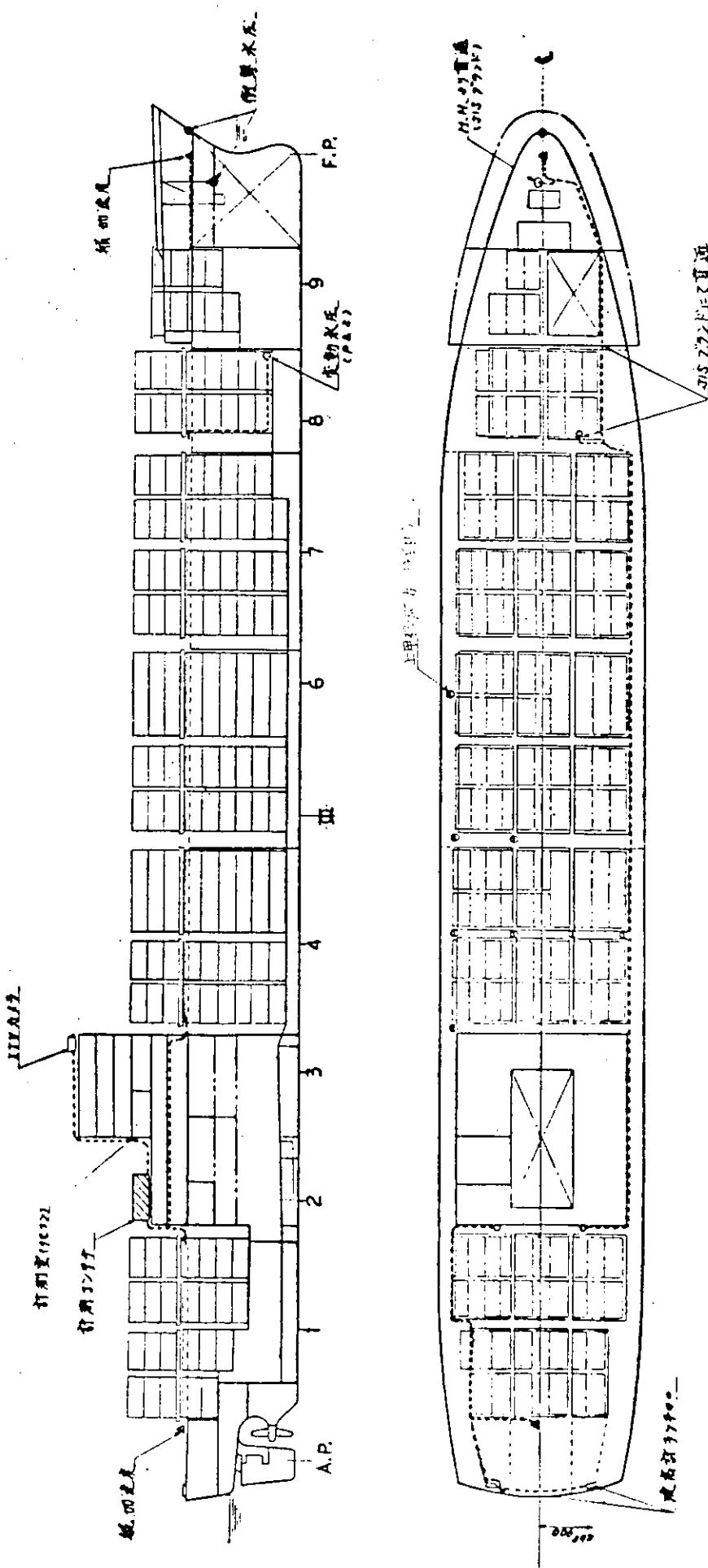


Fig. 4.3.4 SR125 實驗用計測點配置

ASPA NPM SFC ANALYSIS

29<sup>TH</sup> 18:00Z (29<sup>TH</sup> 07:30 SMT)

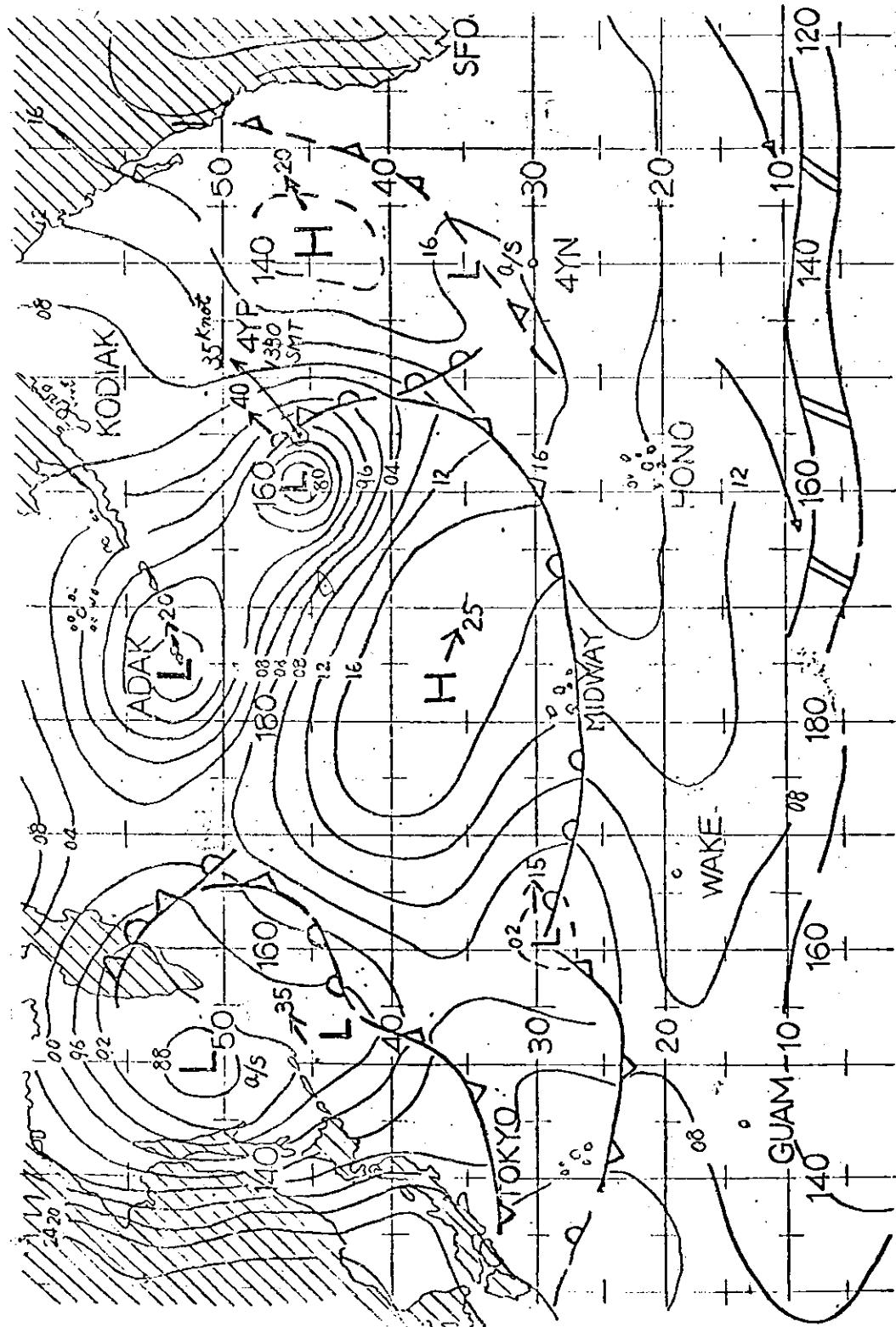
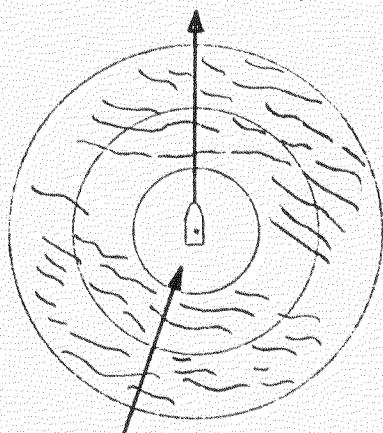


Fig. 4.3.5 天 气 图

11月19日 T.NO. 22

RADAR RANGE 0.75/0.25

船の進行方向 (80°)



波の進行方向

WIND FORCE 8

R. DIRECTION 130° (P)

R. SPEED 8 (m/s)

A. DIRECTION 310° (NW)

A. SPEED

WAVE HEIGHT 0 m

SWELL HEIGHT 0~5 m

Fig. 4.3.6 レーダ観測

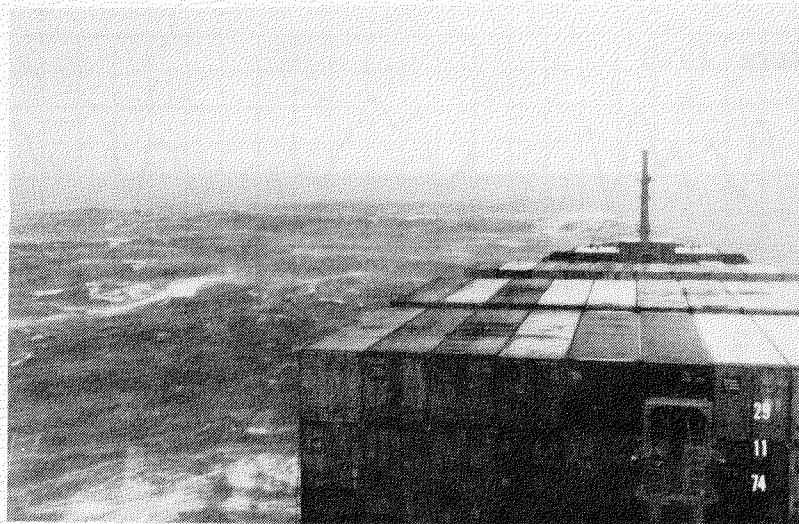


Fig. 4.3.7

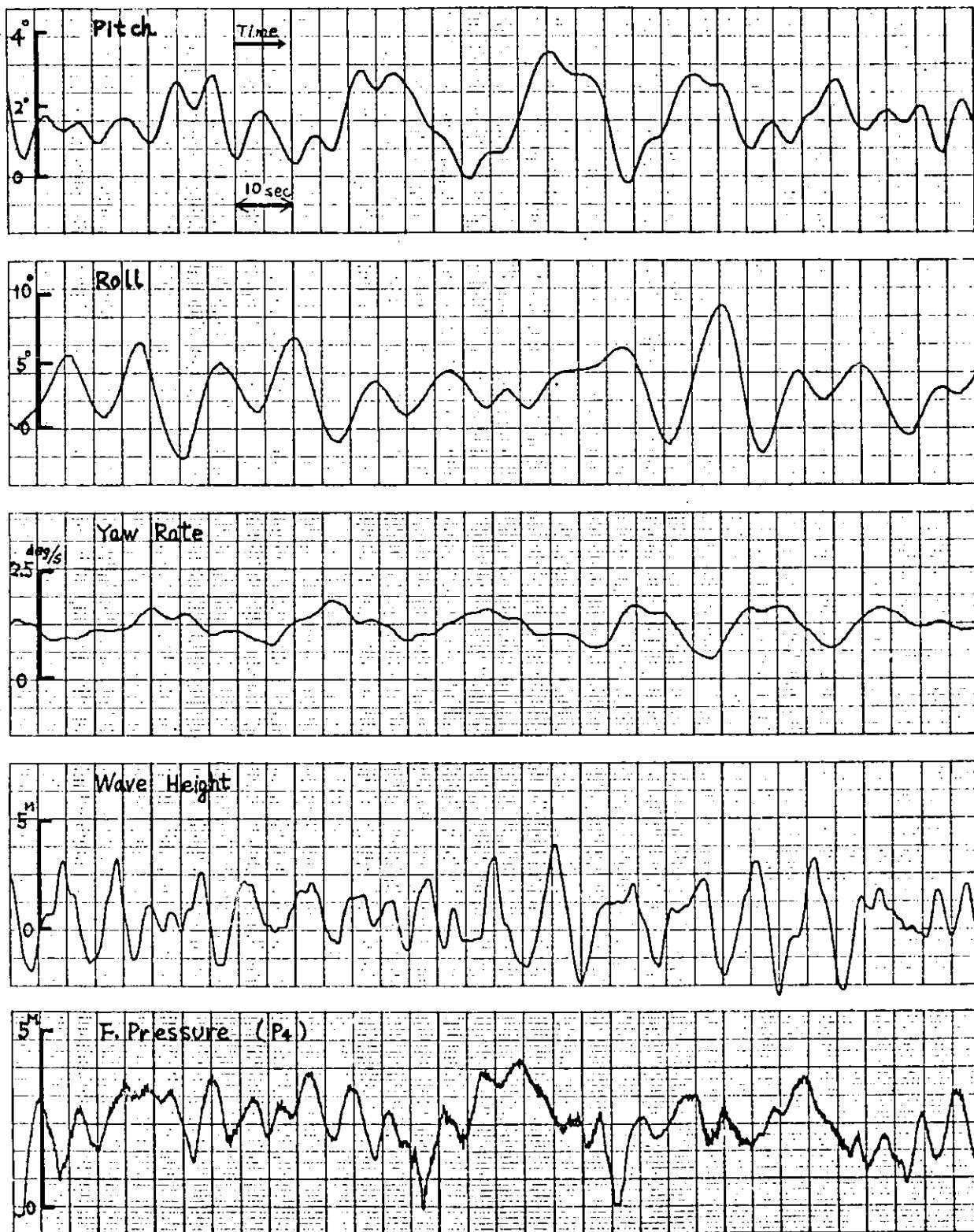


Fig. 4.3.8 11月29日11:00時の計測( T. No.22 )

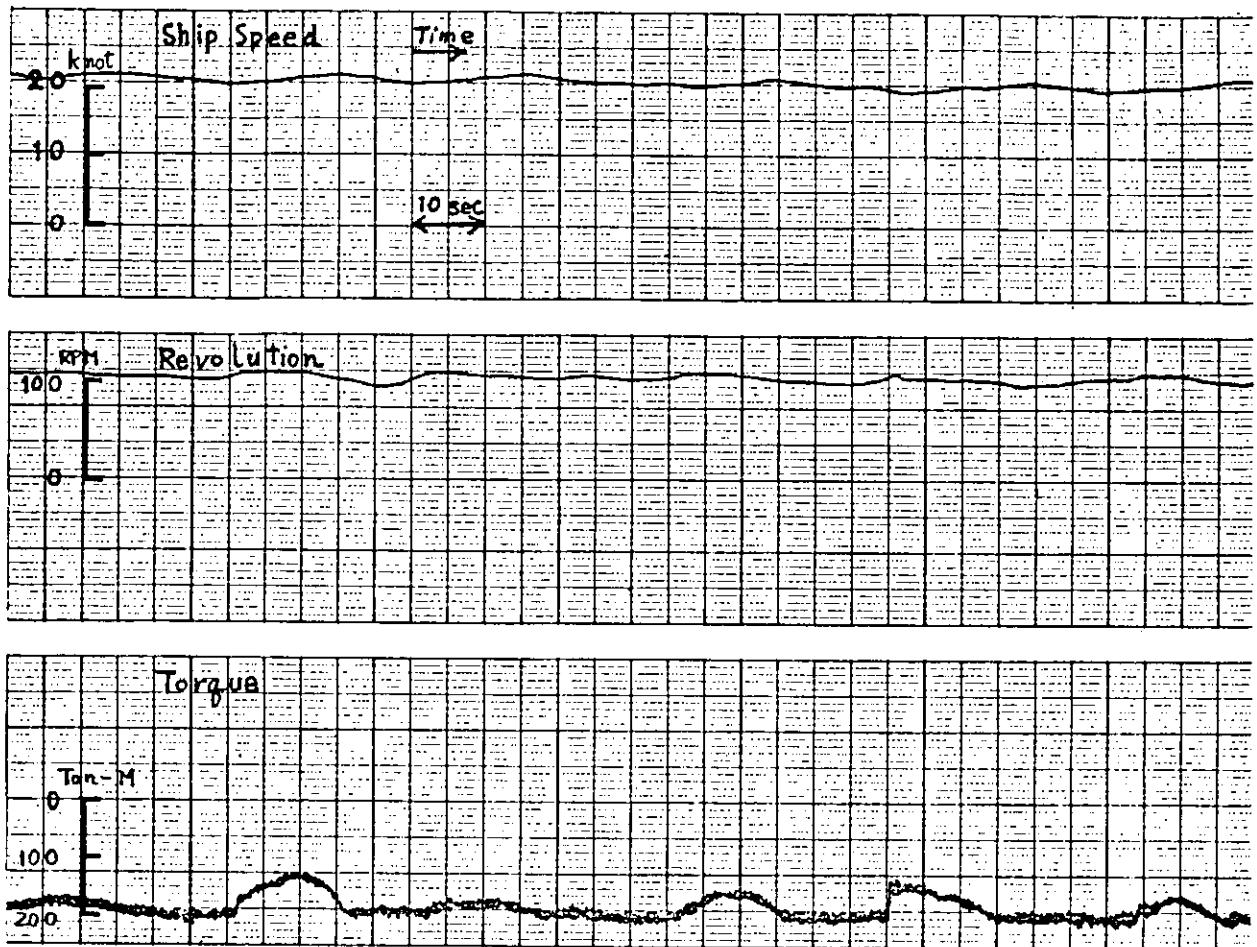


Fig. 4.3.9 11月29日15:00時の計測 (T. No.23)

#### 4.4 H. I. 丸による実船試験（2次航）

##### 4.4.1 計測員および関係者

今年度の実船試験は同一船による連続2往復航海の計測を実施する予定になっていた。すなわち、PNW航路のコンテナ船H.I.丸の第7次航に乗船した日本鋼管担当の実船試験の第1次航に引き続き、H.I.丸の第8次航に実船試験の第2次航として乗船し計測を行なった。本航の解析担当は横浜国大である。

計測装置などの整備、取付は第1次航計測員との共同作業で前航に実施した。本航の終了時に、大井ふ頭で計測コンテナを始め、計測装置一式を前航計測員との協同作業で撤去した。

計測員として乗船したのは、

横浜国立大学工学部造船工学科

竹沢 誠二

" "

宮川 清

日本鋼管、鶴見造船所造船設計部船体設計課

山内 八郎

" 本社 基本設計部

白木 東

の4名である。

なお、計測装置の準備などに関して、日本钢管研究所の永島氏、および高千穂精機株の大沼、桑折の両氏に負う所が多い。また、計測コンテナの輸送に関しては日本郵船の八田委員に尽力いただいた。波高計関係では東大生研の前田、江口の両氏に御協力いただいた。さらに試験全般にわたり、日本钢管本社の更田氏に心労を煩わせた。

本実験が成功裡に終了できた事は、H.I.丸の磯野船長以下乗組員一同の御協力によるものであり、ここに改めて謝意を表する。また、SR-125と日本郵船の連絡および折衝にあたられた八田委員の御努力にも深く謝意を表しておきたい。

#### 4.4.2 計測期間および回数

大洋航行時に1日6回の定時計測を実施した。1回の計測時間は40分とし、船内時間の0時、4時、8時、12時、16時、20時に計測が終了するように、リモートコントローラのタイマーをセットした。データレコーダのヒートランの時間を40分としたので、上述の時刻の80分前にオートタイマーのスイッチ用接片をセットしたわけである。

なお、定時計測の間隔が短いので、臨時計測は定時計測の計測時間を延長した型で実施する事が多かった。したがって、実験番号は定時計測の数から余り増えていない。

往航(Outward)では実験番号を横浜国大(Y.N.U.)のYと往航のOをとり、YO-1の如くつけた。復航(Homeward)ではYH-50のように呼ぶこととしたが、番号は往航を含めた一貫番号となっている。

今回の実験ではTime Cord Generator(T.C.G.)の発生時刻をグリニッジ標準時刻(G.M.T.)に合せ、その信号をすべてのデータレコーダの第1チャンネルに記録しつぶなしにして置いたので、各データレコーダの相関をとるのに便であろう。

Table 4.4.1として実験番号と計測時刻(T.C.G.)および船内時刻(S.M.T.)の対照表を掲げた。

本航は大井を昭和49年12月末に出港し、1月末に神戸港外に着いた。

その間、1チャンネルあたり延約5,000分、実に約84時間にわたる計測記録を行なったことになる。なお、VTRによる外界状況の録画は延約13時間である。

#### 4.4.3 計測項目

計測項目は本年度第1次航と同じであるが、データレコーダへの接続は変更し、以下の配列とした。

D/R-I (一番目のデータレコーダ)

1 ch.	タイムコード	(T.C.G.)	,	± 1 V
2 ch.	ピッチ角	(θ)	,	± 1 V
3 ch.	ロール角	(φ)	,	± 1 V
4 ch.	船首上下加速度	(V <sub>1</sub> )	,	± 0.5 V
5 ch.	主軸トルク	(Q)	,	± 1 V
6 ch.	船首変動水圧	(P <sub>1</sub> )	,	± 0.5 V
7 ch.	ミドシップ・ストレス	(S <sub>2</sub> )	,	± 0.5 V

D/R-II

1 ch.	サーボ加速度	(α <sub>x</sub> )	,	± 0.5 V
2 ch.	タイムコード	(T.C.G.)	,	± 1 V
3 ch.	スウェー加速度	(α <sub>y</sub> )	,	± 0.5 V
4 ch.	ヒープ加速度	(α <sub>z</sub> )	,	± 0.5 V
5 ch.	船尾上下加速度	(V <sub>2</sub> )	,	± 0.5 V
6 ch.	船首上下加速度	(V <sub>1</sub> )	,	± 0.5 V
7 ch.	ミドシップ・ストレス	(S <sub>1</sub> )	,	± 0.5 V

## D/R-II

1 ch.	タイムコード	(T.C.G.) ,	± 1 V
2 ch.	船速	(V <sub>s</sub> ) ,	± 1 V
3 ch.	主軸回転数	(N) ,	± 1 V
4 ch.	主軸トルク	(Q) ,	± 1 V
5 ch.	舵角	(δ) ,	± 0.5 V
6 ch.	方位角(ヨー角)	(ψ) ,	± 0.5 V
7 ch.	風速	(V <sub>w</sub> ) ,	± 1 V

## D/R-N

1 ch.	タイムコード	(T.C.G.) ,	± 1 V
2 ch.	ストレス	(S <sub>1</sub> ) ,	± 0.5 V
3 ch.	ストレス	(S <sub>2</sub> ) ,	± 0.5 V
4 ch.	ストレス	(S <sub>3</sub> ) ,	± 0.5 V
5 ch.	A ストレス B 波高	(S <sub>4</sub> ) (H <sub>w</sub> ) ,	± 0.5 V
6 ch.	A ストレス B 船首正面衝撃水圧	(S <sub>5</sub> ) (P <sub>1</sub> ) ,	± 0.5 V
7 ch.	A ストレス B 船首フレアー衝撃水圧	(S <sub>6</sub> ) (P <sub>2</sub> ) ,	± 0.5 V

D/R-IIの1 ch.のアンプは故障ぎみだったので、2 ch. RTCGを接続した。

D/R-NではA, Bが切り替え可能にし、波高計投入時あるいは向い波で衝撃水圧の出そうな時はBを使用することとした。

D/R-Iに重要と思われる項目を並べ、相関がとりやすい様に配慮した。D/R-IIは加速度計測、DR-Nはストレス計測に統一した。

( )内は本計測で使用した略号であるが、配列の都合上、Q, V<sub>s</sub>, S<sub>2</sub>は2台のデータレコーダで並列に記録している。なお、ペンオッショグラフには、2 ch. ~ 7 ch.を記録させた。ペンオッショロにはローパスフィルターを介してデータレコーダの再生出力を接続した。常用した送りは1 mm/sec、ペンオッショロのアッテネーターは0.5 cm/Vとしたので、1 ch.あたりの紙幅4 cmで丁度データレコーダの出力±1 Vが一杯に入る事になり、モニターに便であった。ローパスフィルターは通常10 Hzにセットし、2節振動などが記録できるように配慮した。

データレコーダの記録速度は最低速の毎秒15/16インチに統一した。標準的に使用したデータレコーダの入力レンジを付記しておいた。船体運動などの特注計測器の記録には1 Vレンジが用いられているが、ストレーンメータを使用している加速度、圧力、ストレスの出力は低いので0.5 Vレンジを使用している。ただし、現象が大きくなった場合、あるいは特に小なる場合性別のレンジも使用したので、解析には注意せねばならない。

計測器の出力レンジは時に応じて切り換えているが、ピッチ角は主として±3°レンジを使用したが、±6°レンジを使用した大運動時もありるので、特に注意を要する。なおYH-70以後はシンクロ発信器のゼロ点が移動したため、±6°レンジのみを使用している。

ロール角は±18°レンジのみを使用した。逆に今回の実験ではロールは片舷18°以内に収まっている事になる。

舵角は±40°レンジのみしかないので、この出力を増幅する意味で、データレコーダの入力レンジを±0.5 Vにした。ちなみに舵角変化は±10°にほぼ満まっている。

船速と主軸回転数は常用範囲のみを拡大記録するレンジ2を用いた。ただし、向い波中で意識的に大減速したYH-

4.6~5.5ではレンジ1を用いた。

主軸トルクは±250t-mレンジのみであるので、2次航では変動分のみを拡大記録できるアンプを用意したが、トルク計出力の極性が逆であったため、使用できなかったのは残念である。このアンプは使用できなかったが、トルク自体は極めて安定に記録されている。

ストレーンメータを使用している計測項目はデータレコーダ入力レンジを0.5V(±0.5Vの入力があったときに磁気テープ上には±1.0Vとして記録される)にセットしたが、その時の再生出力±1Vに対応する現象は、V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>ではなく±0.65Gである。従ってベンオッショロが紙幅一杯に振れている時は約±0.65Gの変動をしている事になる。同様にP<sub>1</sub>は±26mAq, P<sub>2</sub>は±21mAq, P<sub>3</sub>は±21mAq, P<sub>4</sub>は±10mAqである。ストレスS<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>では±3.1~3.8kg/mm<sup>2</sup>, S<sub>2</sub>のみが±5.2kg/mm<sup>2</sup>である。

なお、同様にD/R入力0.5Vレンジに対してα<sub>x</sub>は±0.24G, α<sub>y</sub>は±0.14G, α<sub>z</sub>は±0.23Gにほぼ対応している。

#### 4.4.4 載荷状況

本実験航海での積荷の状況を、往航と復航に分けてFig. 4.4.1, 2に示した。往復航とも荷が少なかった。

そのため船長および機関長は時化の時の操船に苦労したようである。またGMを小にし動搖周期を大にするため、コンテナーを甲板上へできるだけ積み上げるように船長が指令を出したとのことである。

往航は計画満載排水量の68%, 復航は62%の排水量に過ぎず、平均吃水も計画満載に対して-2.67m, -3.21mの浅吃水であった。

#### 4.4.5 航海概況

Fig. 4.4.3に本航海(H.I.丸8次航)の航跡図を示した。なお、1日の平均船速、航走時間、正午の絶対風速(ビューフォート階級)、風向も記入しておいた。

往航はほぼ完全に追い波状態で船首へのスプレーなどは殆んど見られなかつたが、追い波状態での特有の現象である大角度ローリングが連日続いた。海象も荒れており、波高4~5m, 時には7~8m, 波長150~200mの波を追い手に受けて走る事が多く、白波が快速約23ktsで走っている本船を追い越し、崩れてゆく様子は興味深く、見あきなかつた。このような波を正面に向い波として走る事は不可能であろうとの船長の言であったが、計測員として考えると、このような波を正面に受けて航走するような場合を心から望んだのであるが、往航では逐に、全く向い波の状態はなかつた。

考えてみると典型的な西高東低型の冬型の気圧配置では、本船の往航では追い風、追い波であるはづで、またその発現確率は大なのであるから、今回のように追い波ばかりであっても仕方がないであろう。むしろ大波高の追い波であった事に感謝せねばならない。

しかし、追い波と向い波の差は確かに甚だ大である。白波が糸を引くような大波高追い波のケースがあったが、本船は大きくロールし、時には大きくピッチするだけで何らの危険感を抱かずに高速航行できた。もちろん衝撃などによるシャター、2節振動の現象も見られない。このような波を正面に向けて走ったK丸の航行状況を思い起すと、雲泥の差である。追い波状況での減速あるいは変針の動機は、大角度ロールにあるようで、今回の経験からは片舷18~20°のロールは乗員に危険感を持たせるように思った。ロール角が約20°になると、立っているものにも、相当なふん張りが必要であるし、ロールの加速度が大になり、物が滑り出すからである。

復航では、天が計測員一同の祈願に答えてくれたのであろうか、復航第一日目から大波高の向い波中を航走せざるを得ない海況に出会い、24hr以上に及ぶ意識的減速航走中のデータを集録することができた。船速を約8ktsに落し続けたのであるが、その間シャター、2節振動が引ききりなしに起つた。これらの現象は、今回の計測では、各部位のストレス、加速度計に明白に記録されている。

今回の計測の特色の一つは軸トルクを測定している事であるから、この記録にレーシングが明確に記録されたのには驚くと共に喜びを隠しきれなかった。本船の復航での積荷は少なく、船尾の足が浅いので、プロペラが容易に露出して

しまう。後に示したFig. 4.4.4 のような極端な例では、ピッチ角が大になりプロペラが水面上へ一部出たと思われる時刻では回転数が増加し、主軸トルクはゼロ附近まで低下している。機関長に聞いた事であるが、本船のガバナーの応答特性は良く、プロペラが露出して回転が上昇ぎみになると、燃料を瞬時にカットするようになっているそうである。実測記録によるとプロペラが露出し回転が上昇してくるとトルクが減少し、ついにはゼロ近くまで下っているのは燃料カットの効果を示している。しかしプロペラ回転数はイナーシャーでもしろ増し、再び水中へプロペラが没入するにつれて急激に回転数が減る。そして十分に水中に入ると燃料の供給が再開されトルクが急激に回復している様子がわかる。このようなレーシングが頻発し出すと、主機を無人運転にしておく事は出来ず、機関部員は不寝番をするのだそうである。すなわち、本船の今航の復航時には、約24時間にわたりエムゼロ船ではなかった事になる。

この時の波は出会い角、左舷45°程度、波長150m程度、波高5~7m程度であった。なお、平均値でピッチ角は±5°程度、ロール角は±15°程度であった。

特によいデータがとれている実験番号はYH-47~52でこの間は80分計測を行なっている。

本船の船長の操船は極めて慎重でかつ巧妙であったと言えよう。往航の大波浪をすべて追い手に受けたのも、毎日毎日の天気図を慎重に検討して、先を見越して針路を指示していた事に主因がある。例えば12月26日には最初の方針を変えて、予想された嵐をさけるため変針した。

復航はアリューシャンに入るのだという事は、往航の時から決めていたようであるが、アリューシャンに入る前に一・二度は時化に会うだろうというのが、船長の予想であった。この予想が的中し、上述の長時間減速を余儀なくされる第1回目の時化に遭遇した。

いよいよ、アリューシャンに入る海峡にさしかかった時、一天にわかれいかきくもり、これはややオーバーで、その朝から強風（約15m/sec）が吹き続け、波長は短いが（40~50m）、波高の高い（3~4m），したがって白波が船の前方から押しよせて来ていた。その後も風は吹き止まず、風波は3~4時間の間に成長して、丁度、海峡通過時には波長120~150m、波高5~6mとなった。

後に船長に聞く所によると、この海峡は比較的に狭く、あの強風で減速すると操船困難となり、陸へ流される恐れがあるので、コンテナを損傷する危惧があったが減速しなかったとの事である。この間、約4時間ではあったが、アリューシャンの島々を左舷に見ながら、本船は壮烈な航行状態に陥り、典型的な大波高向い波中高速航行時の貴重なデータを得る事ができた。この時の実験番号はYH-68であるが、約3時間にわたる連続計測を行なった。Fig. 4.4.4としてYH-68の記録のごく一部を示しておいたが、プロペラレーシング（N, Q）、船首衝撃水圧（P<sub>1</sub>）、船体2節振動（S<sub>2</sub>, V<sub>1</sub>）、シャター（S<sub>2</sub>, V<sub>1</sub>）がカッコ内に示した記録（いづれも明白に示されており、珍重すべきデータであると言えよう。Photo. 4.4.1にはこの時の航行状況の手動による連続写真、したがって撮影時間間隔は一定ではない、を2例掲げておいた。

それ以後、アリューシャン内では船長の予測通りに全く揺れず、アリューシャンの出口で若干揺れてその後の実験に期待が持たれたが、以後弱いねりの追い波状況になり、日本出航以来抑えなかった陽光さえ降りそそぎ、本実験航海はハッピー（？）なエンドとなつた。

本船の船長の操船方針は、(1)可能なかぎり追い手で波を受けるように航路を選ぶ、(2)どうしても大波高向い波中を走らなければならない時には、どんどん減速して荷物を守る、という事のようである。その具体的な1例が本航海の航跡として示されたわけであるが、船長の言によると“今航もマアマア成功だった”という事である。たしかに往航は大風浪を追い手に受けて、船体運動は大であったが、一度の減速もなく太平洋を高速で突走っている。復航は1日目の大減速こそあったが、初志を貫徹して一路アリューシャンへ向い、その後は低気圧の間をくぐり抜けて、全く平穡を高速航行を続ける事ができている。

このように毎日の天気図からの情報を、針路決定の重要要素としている船は珍しいのではなかろうか、これは船長の個人的な考え方によるとも思われるが。逆に冬季のP NW航路では天気図を見ないで、やみくもに航走したのではとんで

もない目に会う事を意味しているのではなかろうか。すなわち、冬季P NW航路は考えながら走らざるを得ない数少ない荒れる航路のように思われる。

#### 4.4.6 計測概況

計測装置は全般的には全く好調であったと言えよう。データレコーダ、ペンオッショロは無故障であった。またオート・リモートコントロール関係も故障なしであった。

ジャイロ式船体運動計測装置ではピッチ角の指示および出力電圧のゼロ点が復航のなかばを過ぎて狂ったが、調整後は落ち着いている。

航行状況撮影用テレビカメラは筐体内に水滴がたまり、前面ガラスの内部を曇らせて使用不能になった。これはアリューション通過後の事であるが、今後このシステムをこのような酷寒海域でも使用するためには、カメラケースにヒーターを取付ける必要がある。また撮像管に1次航の残像が焼きついてしまっていたが、これは1次航でカメラの電源が入りっぱなしになっていたためと思われる。このような誤操作をさけるためテレビ関係の電源スイッチを1ヶ所にまとめる必要があろう。

波高計は9発投入して、3発成功したに過ぎず、残念ながら成績は悪かった。ほとんどの場合に受信感度はあったので、無線送受信系でなく、センサーの動作不良にその主因があると思われる。

#### 4.4.7 結 言

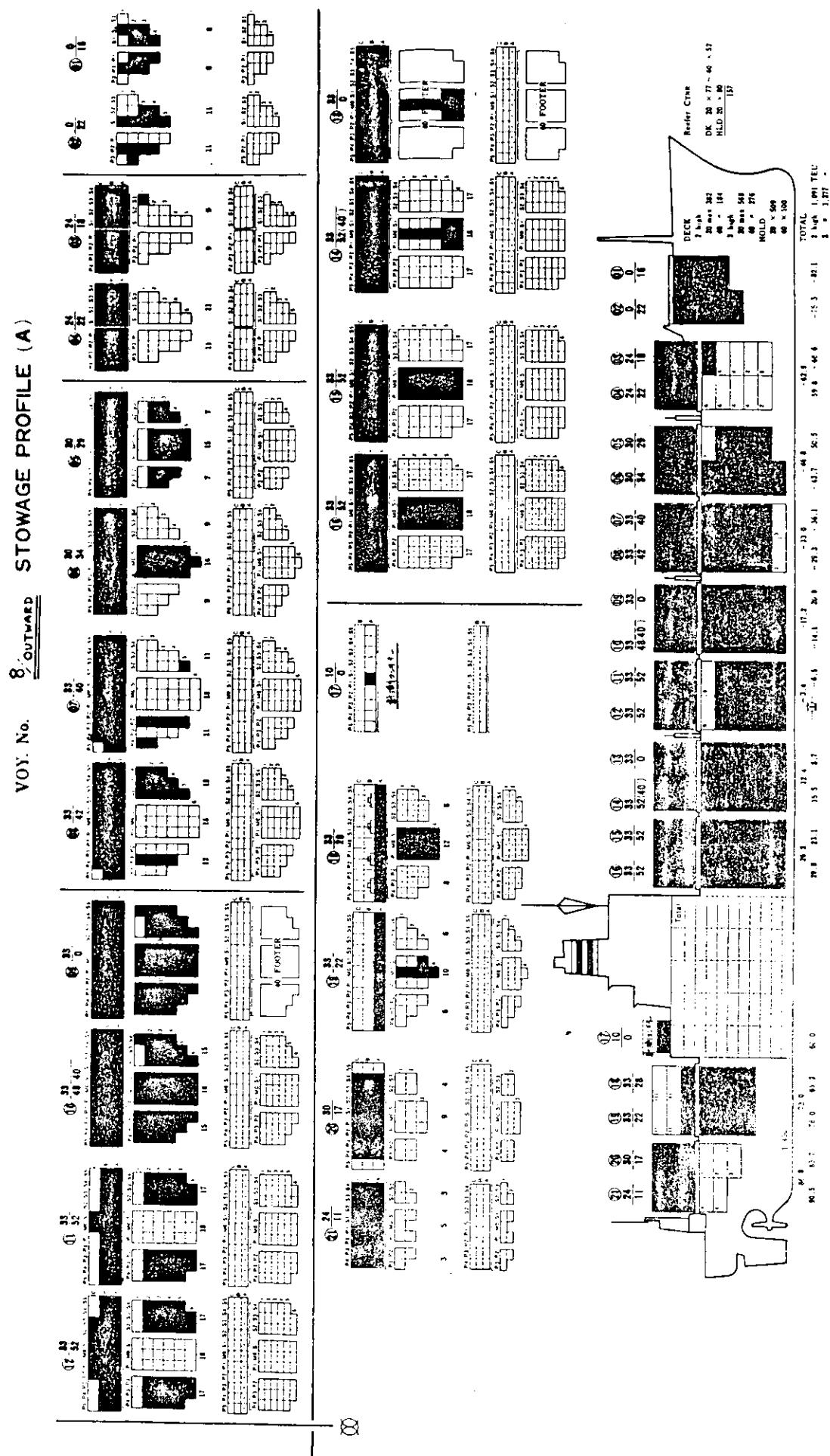
前述のように、追い波の典型的な状況、向い波での高速航行状況、向い波での長時間にわたる大減速状況を集録する事ができたので、計測コンテナシステムによる実験に有終の美を飾る事ができたものと自負している。

Table 4.4.1-(1)

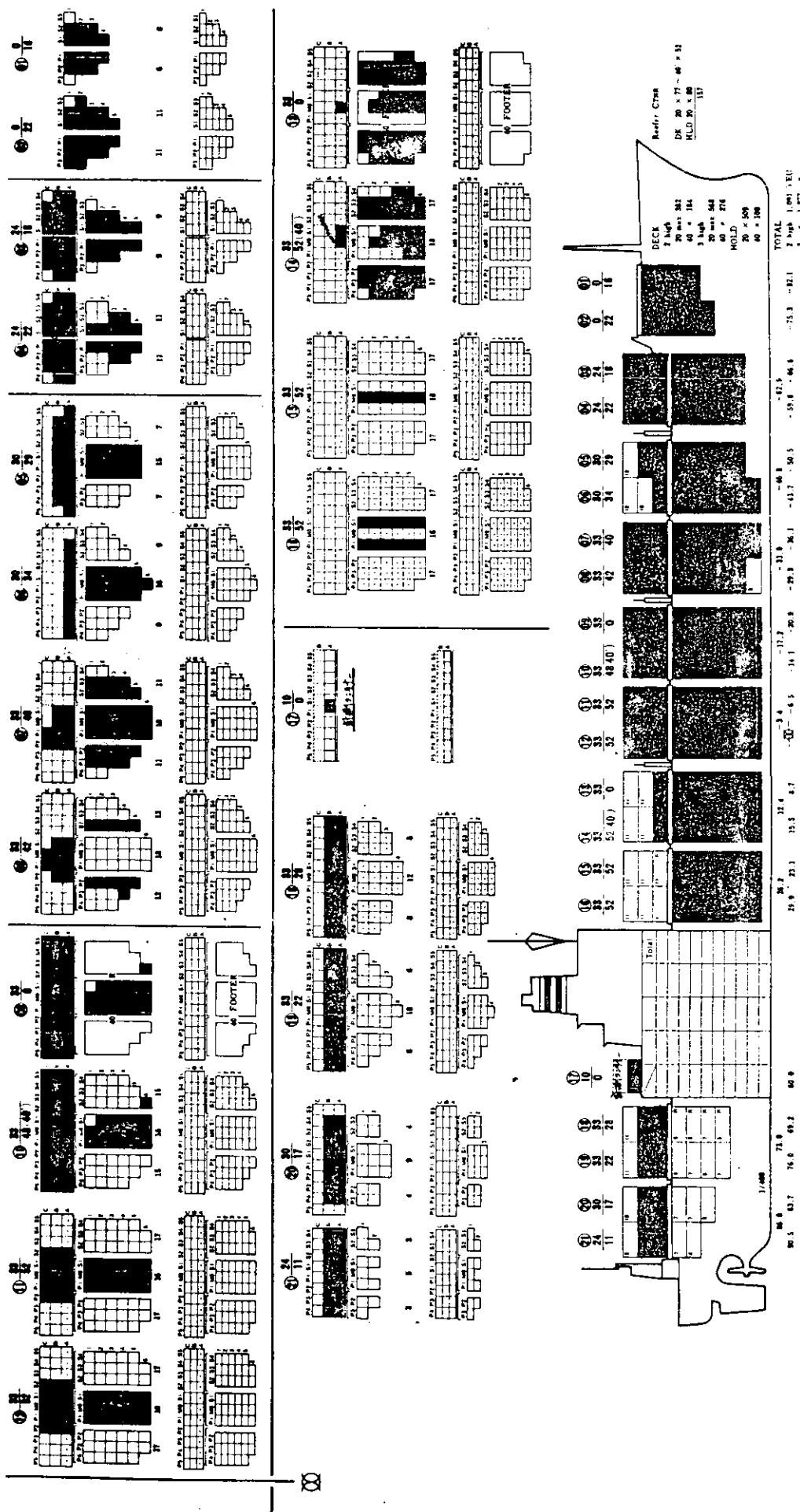
実験番号	計測テープ番号	計測開始時刻		計測時間 (Min.)	VTR テープ番号
		G. M. T. (T. C. G.)	S. M. T.		
YO-1	21, 22, 23, 24	12, 25, 01, 40	12, 25, 11, 10	40	7
2	" "	12, 25, 05, 40	12, 25, 15, 10	40	7
3	" "	12, 25, 09, 46	12, 25, 19, 16	40	—
4	" "	12, 25, 12, 50	12, 25, 22, 50	40	—
5	" "	12, 25, 16, 50	12, 26, 03, 20	40	—
6	" "	12, 25, 20, 50	12, 26, 07, 20	40	—
7	" "	12, 25, 22, 43	12, 26, 09, 13	45	8
8	" "	12, 26, 00, 41	12, 26, 11, 11	50	8
9	" "	12, 26, 04, 43	12, 26, 15, 13	40	—
10	25, 26, 27, 28	12, 26, 08, 50	12, 26, 19, 20	40	—
11	" "	12, 26, 11, 50	12, 26, 22, 50	40	—
12	" "	12, 26, 15, 50	12, 27, 03, 20(A)	40	—
13	" "	12, 26, 19, 50	12, 27, 07, 20(A)	40	—
14	" "	12, 26, 23, 40	12, 27, 11, 10(A)	50	9
15	" "	12, 27, 03, 45	12, 27, 15, 15(A)	40	9
16	" "	12, 27, 07, 50	12, 27, 19, 20(A)	40	—
17	" "	12, 27, 10, 46	12, 27, 22, 46(A)	40	—
18	" "	12, 27, 14, 46	12, 27, 03, 16(B)	40	—
19	" "	12, 27, 18, 46	12, 27, 07, 16(B)	40	—
20	" "	12, 27, 22, 40	12, 27, 11, 10(B)	40	10
21	" "	12, 28, 02, 43	12, 27, 15, 13(B)	40	10

実験番号	計測テープ番号	計測開始時刻		計測時間 (Min.)	VTR テープ番号
		G. M. T. (T. C. G.)	S. M. T.		
YO-22	25, 26, 27, 28	12, 28, 06, 47	12, 27, 19, 17(B)	40	—
23	" "	12, 28, 09, 47	12, 27, 22, 47(B)	40	—
24	" "	12, 28, 13, 47	12, 28, 03, 17	40	—
				小計 985	
25	" "	12, 28, 17, 47	12, 28, 07, 17	40	—
26	29, 30, 31, 32	12, 28, 21, 40	12, 28, 11, 10	40	11
27	" "	12, 29, 01, 45	12, 28, 15, 15	40	11
28	" "	12, 29, 05, 53	12, 28, 19, 23	40	—
29	" "	12, 29, 09, 42	12, 28, 23, 42	40	—
30	" "	12, 29, 13, 42	12, 29, 04, 12	40	—
31	" "	12, 29, 17, 42	12, 29, 08, 12	40	—
32	" "	12, 29, 20, 38	12, 29, 11, 08	40	12
33	" "	12, 30, 00, 38	12, 29, 15, 08	40	12
34	" "	12, 30, 04, 43	12, 29, 19, 13	40	—
35	" "	12, 30, 07, 43	12, 29, 22, 43	40	—
36	" "	12, 30, 11, 43	12, 30, 03, 13	40	—
37	" "	12, 30, 15, 43	12, 30, 07, 13	40	—
38	" "	12, 30, 19, 33	12, 30, 11, 03	60	13
39	" "	12, 30, 23, 40	12, 30, 15, 10	40	13
40	" "	12, 31, 03, 41	12, 30, 19, 11	40	—
41	33, 34, 35, 36	12, 31, 07, 17	12, 30, 23, 17	40	—
42	" "	12, 31, 11, 17	12, 31, 03, 17	40	—
43	" "	12, 31, 15, 17	12, 31, 07, 17	40	—
				小計 780	
YH-44	" "	1, 07, 19, 15	1, 07, 11, 15	40	14
45	" "	1, 07, 23, 17	1, 07, 15, 17	40	—
46	" "	1, 08, 03, 22	1, 07, 19, 22	80	—
47	" "	1, 08, 07, 50	1, 07, 23, 50	80	—
48	" "	1, 08, 11, 50	1, 08, 03, 20	80	—
49	" "	1, 08, 15, 50	1, 08, 07, 20	80	14, 15
50	" "	1, 08, 19, 42	1, 08, 11, 12	80	15
51	" "	1, 08, 22, 30	1, 08, 14, 00	140	16
52	37, 38, 39, 40	1, 09, 03, 50	1, 08, 19, 20	80	—
53	" "	1, 09, 08, 50	1, 08, 23, 50	80	—
54	" "	1, 09, 12, 50	1, 09, 03, 20	80	—
55	" "	1, 09, 16, 50	1, 09, 07, 20	80	—
56	" "	1, 09, 20, 30	1, 09, 11, 00	40	—
57	" "	1, 10, 00, 35	1, 09, 15, 00	40	—
58	" "	1, 10, 04, 39	1, 09, 19, 09	40	—
59	" "	1, 10, 09, 45	1, 09, 23, 45	40	—
60	" "	1, 10, 13, 45	1, 10, 03, 15	40	—
61	" "	1, 10, 17, 45	1, 10, 07, 15	40	—
62	" "	1, 10, 21, 10	1, 10, 10, 40	90	17

実験番号	計測テープ番号	計測開始時刻		計測時間 (Min.)	VTR テープ番号
		G. M. T. (T. C. G.)	S. M. T.		
YH-63	37, 38, 39, 40	1, 11, 01, 50	1, 10, 15, 20	40	-
64	41, 42, 43, 44	1, 11, 05, 52	1, 10, 19, 22	40	-
65	" "	1, 11, 10, 44	1, 10, 23, 44	40	-
66	" "	1, 11, 14, 44	1, 11, 03, 14	40	-
67	" "	1, 11, 18, 44	1, 11, 07, 14	40	-
				小計 1,470	
68	" "	1, 11, 21, 45	1, 11, 10, 15	150	18, 19,
69	" "	1, 12, 02, 40	1, 11, 15, 10	80	-
70	" "	1, 12, 06, 40	1, 11, 19, 10	80	-
71	" "	1, 12, 10, 40	1, 11, 22, 40	80	-
72	" "	1, 12, 14, 40	1, 13, 02, 10	80	-
73	" "	1, 12, 18, 40	1, 13, 06, 10	80	-
74	" "	1, 12, 23, 50	1, 13, 11, 20	40	-
75	" "	1, 13, 03, 52	1, 13, 15, 22	40	-
76	" "	1, 13, 07, 57	1, 13, 19, 27	40	-
77	45, 46, 47, 48	1, 13, 12, 50	1, 13, 23, 50	40	-
78	" "	1, 13, 16, 50	1, 14, 03, 20	40	-
79	" "	1, 13, 20, 50	1, 14, 07, 20	40	-
80	" "	1, 14, 00, 43	1, 14, 11, 13	40	-
81	" "	1, 14, 04, 45	1, 14, 15, 15	40	-
82	" "	1, 14, 08, 50	1, 14, 19, 20	40	-
83	" "	1, 14, 13, 53	1, 14, 23, 53	40	-
84	" "	1, 14, 17, 53	1, 15, 03, 23	40	-
85	" "	1, 14, 21, 53	1, 15, 07, 23	40	-
86	" "	1, 15, 01, 46	1, 15, 11, 16	40	-
87	" "	1, 15, 06, 46	1, 15, 16, 16	40	-
88	" "	1, 15, 09, 55	1, 15, 19, 25	40	-
89	" "	1, 15, 14, 15	1, 15, 23, 15	40	-
90	" "	1, 15, 18, 15	1, 16, 03, 15	40	-
91	" "	1, 15, 22, 15	1, 16, 07, 15	40	-
				小計 1,270	
92	" "	1, 16, 02, 09	1, 16, 11, 09	40	-
93	" "	1, 16, 06, 11	1, 16, 15, 11	40	-
94	49, 50, 51, 52	1, 16, 10, 10	1, 16, 19, 10	40	-
95	" "	1, 16, 14, 10	1, 16, 23, 10	40	-
96	" "	1, 16, 16, 30	1, 17, 01, 30	380	-
				小計 540	
				合計 5,045	



**STOWAGE PROFILE (A)**



PORT LAND on sail df da dm Trim  $\Delta$  GoM  
 7.28~~m~~ 8.06~~m~~ 7.67~~m~~ 0.78~~m~~ 24.250KT 2.27~~m~~

Fig. 4.4.2 復航の載荷状況

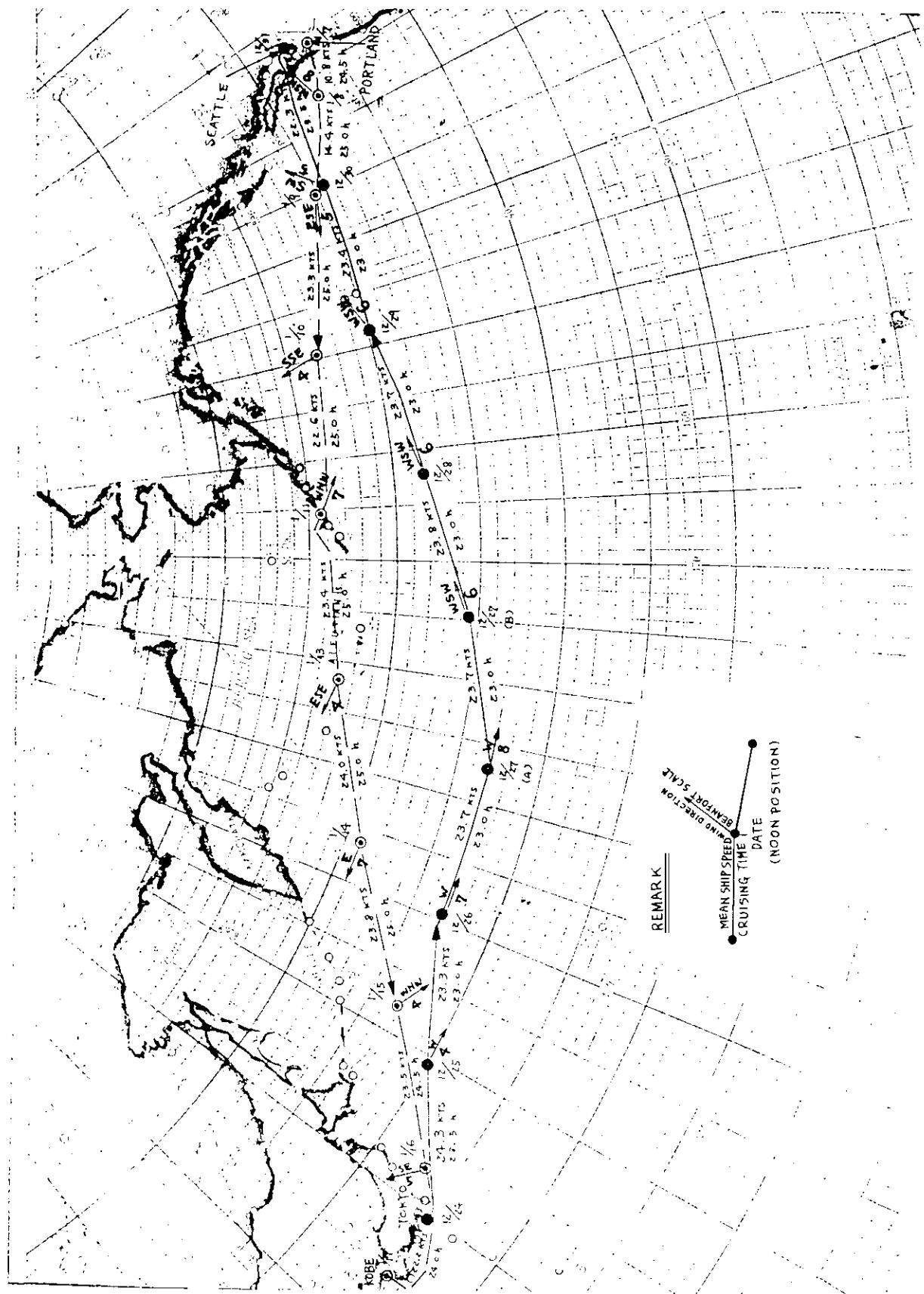


Fig. 4.4.3

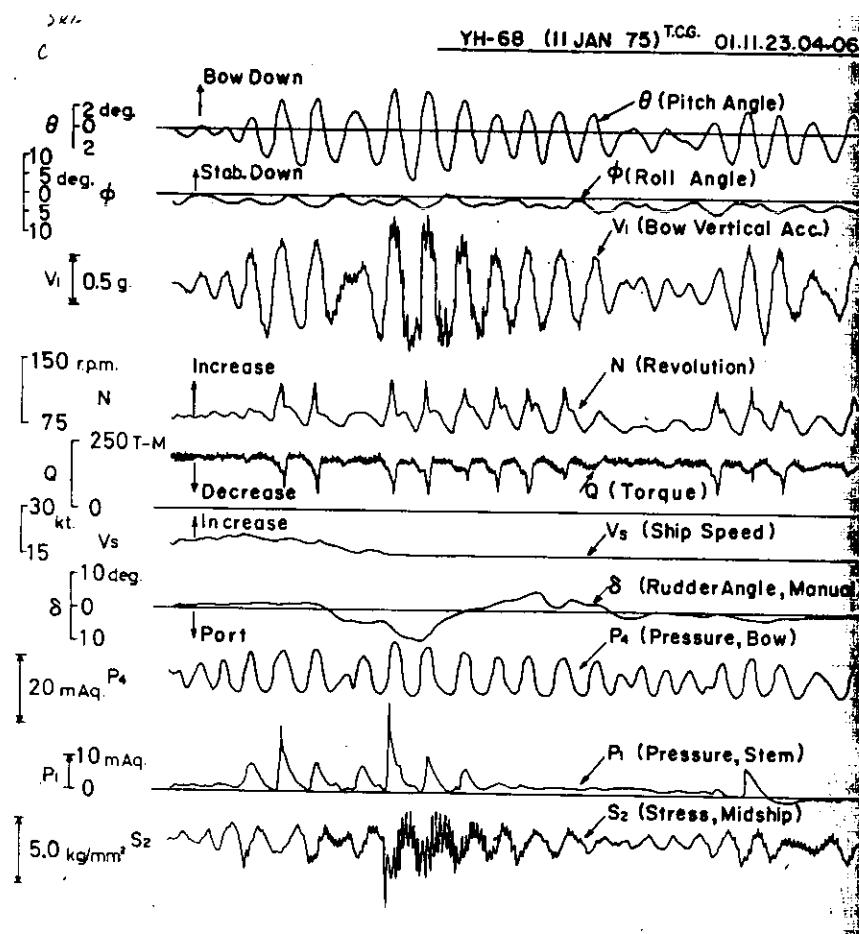


Fig. 4.4.4 実験番号 YH-68 での記録例

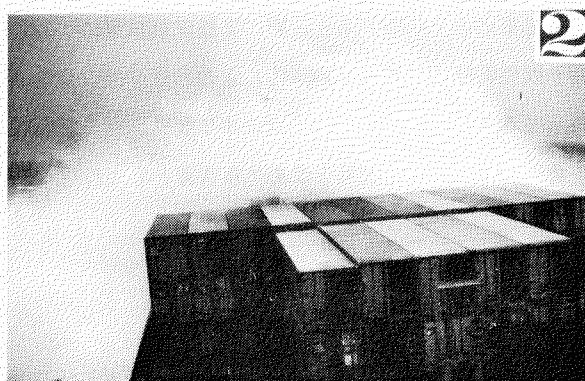
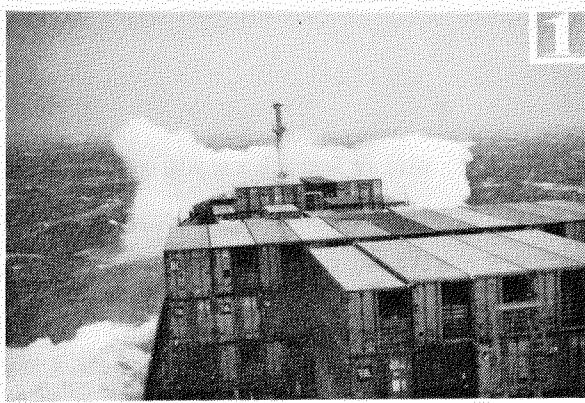


Fig. 4.4.5 YH - 68 での航走状況

## 5. 結 言

本研究は、昭和44年度から実施されたSR108研究部会の継続研究として、昭和46年度より4年計画で行われたもので、本年度はその最終年度に当る。超高速コンテナ船の耐航性に関する諸問題を解明し、設計あるいは運航上必要な資料を提供することを目的とし、理論計算、模型実験及び実船試験の3本柱で研究が進められ、高速コンテナ船の耐航性について色々な角度から調査、検討が行われ、多くの研究成果をあげることができた。

しかしながら本年度計画した耐航性に関する諸計算のとりまとめに関しても、計算結果を示すにとどまり、これらを総合的に検討して設計、運航に直接役立つ資料としてまとめるまでには至らず、模型実験についてもなお引き続き解析、検討を加える必要のある問題があり、更に実船試験結果については、貴重な数多くの資料は得られたが、それらを取りまとめ理論計算や模型実験との相関を調べることなどは今後の課題として残されている。

従って本年度の報告書としては、本年度実施した研究の各項目ごとの報告にとどめ、引き続き昭和50年度に総合取りまとめを行い、それらの成果を改めて報告書として作成する予定である。