

日本船舶振興会 昭和46年度補助事業
"船舶の構造・性能に関する基礎的研究"

研究資料 No. 157

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47年3月

社団法人
日本造船研究協会

第125研究部会報告書

正 誤 表

(研究資料 No.157、昭和47年3月)

頁	行	誤	正
1	上から9行目	操船上の諸問題	操船上の諸問題
3	上から16行目	測つた。船側と	測つた、船側と
5	表番号	脱落	Table 2.1-1
24	上から18行目	重心高さ GM	横メタセンター高さ GM
"	下から4行目	重量	重畳
36	上から15行目	変動圧の測定強制動搖装置	変動圧の測定 強制動搖装置
" "		ミナーシヤモータ	イナーシヤモータ
"	下から2行目	$\frac{L}{\lambda} 2\pi \phi_0$	$\frac{L}{\lambda} 2\pi \bar{\phi}_0$
38	上から3行目	Fig. 2.3.1	Fig. 2.3.31
39	Table 2.3.1	Longitudinal radius gyration	Longitudinal radius of gyration
"	Table 2.3.2 (3) Longitudinal distribution	S. S 2,5,8	S. S 2,3,4,5,6,7,8
40	Table 2.3.3 (2)	boal screw	ball screw
"	Fig. 2.3.1	Sliding lod	Sliding rod
42	Fig. 2.3.6~8	Hydrodynamic Pressure	Hydrodynamic Pressure
47	上から3行目	横型実験	模型実験
"	" 7行目	4.5 m模型	4.5 m模型
"	" 9行目	不規波中	不規則波中
"	下から15行目	0.5~2.5	0.5~2.5
"	下から8行目	船体の振幅	船体運動の振幅
48	" 14行目	波 spectrum	波 spectrum
50	Table 2.4.1	perpendiculars	perpendiculars
61	下から7行目	別稿	3.3
"	" 3行目	分散 (Varriance)	分散 (Variance)
63	上から17行目	$\overline{H} = \int_0^{\infty} H p(H) \cdot dH$	$\overline{H} = \int_0^{\infty} H \cdot p(H) \cdot dH$
64	上から 2行目	$\sqrt{\log \theta n}$	$\sqrt{\log e n}$
65	上から15行目	m_2 は $\dot{h}(t)$ の	m_2 は $\dot{h}(t)$ の
"	" 17行目	Table 2	Table 3.2-2
"	下から3行目	$(\overline{T}_m)_n, (\overline{T}_{o_2})_n$	$(\overline{T}_m)_n, (\overline{T}_{o_2})_n$
67	Table 3.2.1	武隈	武隈
77	上から10行目	正規確写紙	正規確率紙
103	" 16行目	σ_3	σ_3
107	下から 6行目	階級分けをした十点	階級分けをした中点
108	Table 3.4.3-1	$\ell \times p \left(-\frac{H^2}{H_{rms}^2} \right)$	$\exp \left(-\frac{H^2}{H_{rms}^2} \right)$
"	下から 4行目	極だつた相関	きわだつた相関

頁	行	誤	正
111	上から 5行目 〃 15行目, 16行目 〃 20行目	Neuman	Neumann
112	Fig. 3.5-1, 3.5-2		
113	Fig. 3.5-3		
114	Fig. 3.5-6	Analized	Analysed
115	Fig. 3.5-7, 3.5-8		
116	Fig. 3.5-9, 3.5-10		
117	上から 17行目 〃 〃 〃 18行目 〃 22行目 〃 24行目, 29行目	合い状態 向え波状態 出会い周期 出会いの主方向 向え波状態	合い状態 向い波状態 出会い周期 出会いの主方向 向い波状態
127	Fig. 3.6-9	H $\frac{1}{3}$ (Degree)	H max (Degree)
131	Fig. 3.6-13	横軸 F	横軸 \overline{F}
164	上から 14行目	ボテンシユ	ボテンショ
179	Fig. 3.11-2(b)	($\epsilon' = 0.91$, $\epsilon = 0.78$ の所の黒丸)	(白丸)
182	Fig. 3.11-4	スケール 1.0 sec	スケール 1.0 sec
183	Fig. 3.11-5(a)		ω_e の後に (1/sec) を入れる
184	Fig. 3.11-5(b)	$\omega_p = 0.70$ (kg/m ²) Ω mega (sec ⁻¹)	$\omega_p = 6.70$ (kg/m ²) ² (削除) ω_e の後に (1/sec) を入れる
185	上から 7行目 下から 13行目	運動状態 異なる傾向であるこの事が	運動状態 異なる傾向である。この事が
211	〃 17行目	外観る Photo 4.5-9	外観を Photo 4.5-9
213	〃 4行目	Auto Manual	Auto, Manual
〃	〃 1行目	開始すると共	開始すると
215	下から 9行目 〃 〃 〃 8行目 〃 7行目	往路の大太平洋 大洋航海日数 往路の大西洋 復航の大太平洋	往航の太平洋 大洋航海日数 往航の大西洋 復航の太平洋

はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和46年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」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（三井重工業）
副部会長	竹沢誠二（横浜国立大学）	岡本洋（川崎重工業）
委員	安部光弘（三井造船）	辛島光二（三井重工業）
	井上勝（原子力船開発事業団）	岸本修（三井造船）
	小川陽弘（船舶技術研究所）	斎藤公男（大阪大学）
	雁野昌明（日立造船）	鈴木敷（造船技術センター）
	北川弘光（船舶技術研究所）	高石敬史（船舶技術研究所）
	滋野正明（佐野安船渠）	高城清（川崎汽船）
	瀬尾敏一（日本钢管）	田上暉（東京計器）
	高木又男（日立造船）	田中紀男（大阪府立大学）
	高松攻（日立造船）	永松秀一（住友重機械工業）
	田才福造（九州大学）	八田守江（日本郵船）
	田添英士（大阪造船）	原田信作（大阪商船三井船舶）
	田中兵衛（昭和海運）	姫野洋司（大阪府立大学）
	永松宣雄（川崎重工業）	藤野正隆（東京大学）
	花園史郎（函館ドック）	細田竜介（大阪府立大学）
	日向義博（ジャパン・ライン）	前田久明（東京大学）
	藤井齊（三井重工業）	元良誠三（東京大学）
	藤原芳夫（名村造船）	森川卓（船主協会）
	堀之北克朗（運輸省）	山本修（日本钢管）
	牧園正孝（山下新日本汽船）	
	森正彦（石川島播磨重工業）	
	山崎芳嗣（佐世保重工業）	

第1小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主査	●竹沢誠二（横浜国立大学）	伊藤憲治（川崎重工業）
委員	安部光弘（三井造船）	●大川豊（東京大学）
	遠藤丘（三井重工業）	片桐徳二（石川島播磨重工業）
	岡本洋（川崎重工業）	雁野昌明（日立造船）
●辛島光二（三井重工業）	北川弘光（船舶技術研究所）	
岸本修（三井造船）	田上暉（東京計器）	
高石敬史（船舶技術研究所）		

田 才 福 造 (九 州 大 学)	田 崎 亮 (石川島播磨重工業)
高 城 清 (川 崎 汽 船)	田 中 兵 衛 (昭 和 海 運)
●朝 長 義 英 (三 菱 重 工 業)	永 松 秀 一 (住 友 重 機 械 工 業)
八 田 守 江 (日 本 郵 船)	原 田 信 作 (大 阪 商 船 三 井 船 舶)
日 向 義 博 (ジャ バン・ライ ン)	藤 井 斎 (三 菱 重 工 業)
前 田 久 明 (東 京 大 学)	牧 園 正 孝 (山 下 新 日 本 汽 船)

●印は鎌倉丸乗船計測員を示す。

第 2 小 委 員 会 委 員 名 簿 (敬 称 略、順 不 同)

主 査	竹 沢 誠 二 (横 浜 国 立 大 学)	
委 員	赤 城 富 也 (三 菱 重 工 業)	小 川 陽 弘 (船 舶 技 術 研 究 所)
	片 桐 德 二 (石 川 島 播 磨 重 工 業)	笠 原 和 子 (横 浜 国 立 大 学)
	雁 野 昌 明 (日 立 造 船)	岸 本 修 (三 井 造 船)
	小 柳 雅 志 郎 (東 京 大 学)	斉 藤 公 男 (大 阪 大 学)
	瀬 尾 敏 一 (日 本 鋼 管)	武 隈 克 義 (三 菱 重 工 業)
	田 中 久 仁 雄 (石 川 島 播 磨 重 工 業)	玉 井 浩 正 (川 崎 重 工 業)
	永 松 秀 一 (住 友 重 機 械 工 業)	永 松 宣 雄 (川 崎 重 工 業)
	姫 野 洋 司 (大 阪 府 立 大 学)	細 田 竜 介 (大 阪 府 立 大 学)
	前 田 久 明 (東 京 大 学)	宮 川 清 (横 浜 国 立 大 学)
	村 橋 達 也 (日 立 造 船)	

目 次

1. 緒 言	1
2. 模 型 試 験	2
2.1 $L/B = 8$ の 1 軸および 2 軸船の斜め波中における動揺等の特性	2
2.1.1 供 試 船 型	2
2.1.2 計測項目と実験方法	2
2.1.3 動揺に関する実験結果	2
2.1.4 プロペラの推力・トルクの実験結果	3
2.1.5 む す び	4
2.2. 横波中における波浪強制力の計測	2 4
2.2.1 目 的	2 4
2.2.2 模型船および計測装置	2 4
2.2.3 実 験 方 法	2 4
2.2.4 実 験 結 果	2 4
2.2.5 実験結果に対する考察	2 4
2.3 波浪中で船体表面に働く変動圧力の計測	3 6
2.3.1 実 験 方 法	3 6
2.3.2 計 算 方 法	3 6
2.3.3 実験および計算結果	3 7
2.3.4 考 察	3 8
2.3.5 参 考 文 献	3 8
2.4 波浪中における抵抗増加および推進性能	4 7
2.4.1 実験の意義	4 7
2.4.2 実験の方法	4 7
2.4.3 実験結果および考察	4 7
2.4.4 結 言	4 9
参 考 文 献	4 9
3. P.S.W. 航路コンテナ船における尖船試験の数値解析	5 9
3.1 ま え が き	5 9
3.2 ハイドロシルバウルド(例)	6 1
3.3 統計数値解析用プログラム	6 9
3.4 船体運動のスペクトラムと確率分布	1 0 3
3.4.1 スペクトラムおよび正規分布	1 0 3
3.4.2 長 期 分 布	1 0 3
3.4.3 Rayleigh 分布	1 0 7
3.5 船体運動記録から逆解析によつて求めた波スペクトラム	1 1 1
3.6 ピツチおよびロール	1 1 7
3.7 船首の上下および左右加速度	1 3 6

「 3.1.8...船橋での水平加速度	3142
△ 3.1.9...ヨーと舵角	3148
△ 3.1.10...プロペラ回転数と船速	31564
△ 3.1.11...波浪による横圧力(実測値)	3176
△ 3.1.12...減搖タンクの効果	3185
△ 3.1.13...意識的減速と船体運動	3194
△ 3.1.14...航路およびシーマーリン	3200
△ 3.1.15...あとがき	3204
△ 3.2...総括	3204
△ 4. 実船試験	3205
△ 4.1...経緯	3205
△ 4.2...供試船、試験期間および計測員	3205
△ 4.3...計測項目および計測時間	3207
△ 4.4...計測装置の設置と配線	3207
△ 4.5...計測装置	3208
△ 4.5.1...計測コンテナ本体	3208
△ 4.5.2...シーケンス水平儀(ピッチ角、ロール角)	3208
△ 4.5.3...三軸加速度(ヒープ、スウェー、サーキジ加速度)	3209
△ 4.5.4...ヨー角レピータ(ヨー角、方位角)	3209
△ 4.5.5...舵角レピータ	3210
△ 4.5.6...船速レピータ	3210
△ 4.5.7...プロペラ回転数レピータ	3210
△ 4.5.8...主軸トルクレピータ	3211
△ 4.5.9...風向、風速レピータ	3211
△ 4.5.10...時刻符号発生器	3211
△ 4.5.11...データレコーダー	3212
4.5.12...リモートコントローラー	213
△ 4.5.13...監視および観測用テレビ装置	3214
△ 4.5.14...投棄式波高計	3214
△ 4.5.15...その他の計測器	3215
△ 3.4.6...音響経過および地図	3215
△ 3.0.1...総括	3215
△ 3.0.2...航路	3216
△ 3.0.3...航行	3216
△ 3.0.4...航行	3216
△ 3.0.5...航行	3216
△ 3.0.6...航行	3216

1. 緒 言

数年来飛躍的に増加の一途をたどつているコンテナ輸送は、コンテナ船の大型化、超高速化の傾向をますます促進させている。

本研究は、内外のかかる情勢に對処し、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の計測と、これに平行して模型実験および理論計算を行ない、船体運動によつて誘起される背波打込み、プロペラレーシング、スラミング、シャダーなどの現象や波浪荷重を解明して、この種船舶の波浪中特性を把握し、基本設計時に必要な、主要寸法、一般配置、抵抗推進に関する要目等を決定するための資料を求める。また艤装品の損傷防止や積荷の安全輸送を図るために必要な過激な船体運動を防止する諸装置の設計資料を得る。さらに大波浪中における意識的速度低下の原因や変針など荒天時の操船上の諸問題についても検討する。

以上のような目的で、昭和46年度は次のような研究を実施した。

I 模 型 試 験

- a) $L/B = 8$ の2軸コンテナ船模型により、船研角水槽において斜規則波中における運動性能、推進性能に関する模型試験を行ない、SR 108研究部会で実施した $L/B = 7$ の1軸コンテナ船模型の試験結果と比較した。
- b) $L/B = 7$ の1軸コンテナ船模型により、東大航海性能水槽において横波中における波浪強制力を計測した。
- c) $L/B = 7$ の1軸コンテナ船模型により、阪大水槽において正面規則波中航走時に船体表面に働く変動水圧を計測し、理論計算結果と比較するとともに、波浪中拘束状態および静水中強制動搖状態の変動水圧も計測し、理論の検討を行なつた。
- d) $L/B = 7$ の1軸コンテナ船模型により、阪大水槽において正面規則波中および不規則波中で抵抗試験および自航試験を実施し、波浪中の抵抗増加や自航要素の変化についての資料を求めた。

II 実船試験結果の数値解析

昭和45年度 SR 108研究部会事業として実施したP SW航路コンテナ船による9往復航海に及ぶ実船観測結果を統計数値解析し、就航状態でのコンテナ船の波浪中特性を調べた。

III 実 船 試 験

昭和46年秋新造の欧洲航路2軸高速コンテナ船に計測用コンテナを搭載し、このコンテナの中に動搖、加速度計測装置、本船航海計器のレピータ、記録装置を設置し、これらをプリツジより遠隔操作する方式で、波浪中航海時の船体運動や推進性能その他を計測した。

2. 模 型 試 験

2.1 $L/B = 8$ の 1 軸および 2 軸船の斜め波中における動揺等の特性

本章は、SR108 の 2 軸船型 ($L/B = 8$) と、SR108 の 1 軸船型 ($L/B = 6.89$) を $L/B = 8$ に変形した船型について、斜め波中の模型実験結果を述べるもので、a) 1 軸船型における L/B の影響、b) $L/B = 8$ 船型におけるプロペラ軸数の影響を調べることを目的としている。

2.1.1 供試船型

Table 2.1-1 に $L/B = 8$ の 2 隻の船型の主要寸法を示す。1 軸船 (S-8 と略称) は、SR108 の 1 軸船 (S-7 と略称) の肋骨線形状をそのままにして、長さ方向だけを $L/B = 8$ になるように引き伸ばした船型である。このうち 2 軸船 (T-8 と略称) の船首尾の写真を Fig. 2.1-1 に示した。試験の状態は、S-8 では t/d , \bar{KG}/d , \bar{GM}/d の値を S-7 と等しくしたが、T-8 はトリムなしの計画満載吃水とした。

2.1.2 計測項目と実験方法

船体動揺関係の計測項目は S-8 に対しては縦揺れ、横揺れ、重心の上下一、横一、前後加速度、船首揺れ、船側 5ヶ所における相対水位変動であり、T-8 に対しては、横揺れおよび縦揺れである。

プロペラ特性関係の計測項目は、プロペラ軸のトルク、推力および回転数である。2 軸船のプロペラは 1 台の電動機で駆動されるので、左右プロペラの回転数は等しく保たれるが、プロペラ動力計は左右別個のものを備えそれぞれのプロペラのトルクおよび推力を測定するようにした。

実験は、自航模型船を用い主に規則波中でおこなわれた。実験の状態は、波長/船長比 (λ/L) で 0.35, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 および 2.0、波との出会い角 (χ) で 180° , 150° , 120° , 90° , 60° および 30° 、船速で $F_n = 0.15 \sim 0.35$ の間で 6~10 点をとり、これらを組合せたものである。波高は S-8 に対しては $H_w/\lambda = 1/50$, T-8 に対しては $H_w/L = 1/50$ とした。

なお平水中の自由横揺れ減衰の実験結果は既に前報で報告したが、S-8 については長水槽における曳航時の自由横揺れ試験と、角水槽中で自航中に船内重量を一時的に移動させておこなう自由横揺れ試験を追加した。

2.1.3 動揺に関する実験結果

実験の結果は、 $F_n = 0.275$ ($L = 240\text{m}$ の実船で約 26.5 ノット) に対して、 λ/L をベースとして、動揺の振巾応答で示される。

(1) 縦揺れ : Fig. 2.1-2 と Fig. 2.1-3 に縦揺れを示す。これらの図から次のようないわかる。

a) S-7 と S-8 とを比較すると、 λ/L の大なるところでは S-7 が、 λ/L の小なるところでは S-8 が、それぞれ大きい。

b) 2 軸船 T-8 は、S-7 と S-8 の中間的な応答を示すが、 $\lambda/L = 1.1 \sim 1.5$ の間で最も小さい値をとっている。

c) O.S.M による計算値と、実験値を比較してみると、全体の傾向は一致しているが、S-8 では実験値が計算値より低目に出る場合が多いが、T-8 はその反対の傾向を示している。

(2) 上下揺れ : Fig. 2.1-4 に上下揺れの計算値を示す。これを見ると船型による差異は縦揺れについて言ったほど同様の傾向を示す。たゞ $\chi = 120^\circ$ において、S-7 と S-8 が大きい応答のピークを示すに対し、T-8 にはそのような傾向がみられない。

(3) 重心の上下加速度 : Fig. 2.1-5 と Fig. 2.1-6 に重心の上下加速度を示す。

a) Fig. 2.1-5 によると S-8 の応答は S-7 の応答を λ/L の小さい側に若干ずらせたような傾向である。これは縦揺れや上下揺れにも見られる傾向である。縦動揺で L/B の大きい方が λ/L の小さい方に

応答がずれる理由は、次のように考えることができる。船体断面に働く、動揺にともなう流体力は $\xi_B = B_0 \omega_e^2 / (2g)$ に依存しているから、S-7 と S-8 のように、横断面形状が同一で L/B が異なる場合、同一の ξ_B を与える λ/L の値は L/B に逆比例する。

- b) Fig. 2.1-6 で実験値と計算値を比較すると、横波中ではよく一致しているが、向波に近づくほど $\lambda/L > 1.0$ の範囲で実験値が小さい。

- (4) 横揺れ：Fig. 2.1-7 に横揺れの自由減衰率 κ の値を、Fig. 2.1-8 に横揺れの実験値を示す。
a) κ の値は T-8 と S-8 ではよく似た傾向を示す。また S-8 については 3 つの方法で求めた κ の値はほぼ同じ値を示す。
b) 斜め追波中における大きい横揺れはどの船型でも示されるが、S-8 と T-8 とはよく似た値を示す。
- (5) 船首揺れ：Fig. 2.1-9 に船首揺れの実験値を示す。この実験値は、船首揺れの角速度の振巾 ϕ_0 を $\omega_e k_0 a$ で割って、角変位の振巾比 $\phi_0 / (k_0 a)$ に換算したものである。この図から、斜め追波中では船首揺れが大となることがわかる。
- (6) 重心の横加速度：Fig. 2.1-10 に重心の横加速度の実験値を示す。これによると、 $\chi = 60^\circ$ の斜め追波中で横加速度が大となっている。
- (7) 船側の相対水位変動：Fig. 2.1-11～Fig. 2.1-13 に、船首 Stem, Sq. St. 8, Midship, Sq. St. 1 の Weather Side で測った。船側と波面の相対水位変動の実験値を示す。これによると、S-8 の応答が S-7 に比べて λ/L の小さい方にずれる傾向がこゝでも認められる。

2.1.4 プロペラの推力・トルクの実験結果

本節では、斜め波中におけるプロペラの推力・トルクの変動値、すなわち波浪中の平均増加量および平均値の上下の変動振巾の実験値を示す。これらの値は次式によって無次化されている。

$$\text{推力平均増加量} \quad \tau_r = \Delta T / (\rho g \zeta_w^2 B_0^2 / L)$$

$$\text{トルク平均増加量} \quad \kappa_r = \Delta Q / (\rho g \zeta_w^2 D_p B_0^2 / L)$$

$$\text{推力変動量} \quad \tau_f = t / (\rho g \zeta_w^2 B_0^2 / L)$$

$$\text{トルク変動量} \quad \kappa_f = q / (\rho g \zeta_w^2 D_p B_0^2 / L)$$

ここで $\Delta T, \Delta Q$ は、波浪中の推力・トルクの平均値から同じ速度の平水中の推力・トルクをさし引いた値を示し、 t, q は波との出会い周期と同じ周期で変動する推力・トルクの変動の全振巾の値を示す。

2 軸船については左舷プロペラに対するものに 1, 右舷プロペラに対するものに 2 の Suffix を附して区別したが、また左右トルク増加量の平均値 $\bar{\kappa}$, 左右推力の和 $\bar{\tau}$ も示した。

実験中、波は模型船の右舷から来ている。

- (1) 推力増加：Fig. 2.1-14～Fig. 2.1-16 に T-8 の推力増加を示す。
- (2) トルク増加：Fig. 2.1-17～Fig. 2.1-19 に T-8 のトルク増加を示す。
- (3) 推力変動：Fig. 2.1-20, Fig. 2.1-21 に T-8 の推力変動を示す。
- (4) トルク変動：Fig. 2.1-22, Fig. 2.1-23 に T-8 のトルク変動を示す。
- (5) 考察：上記の実験結果からとくに 2 軸船に対して次のような点がうかゞわれる。

- a) 2 軸船の左右プロペラの差について

推力・トルク増加では向波、斜向波中で左右の差は小さい。推力増加は $\chi = 30^\circ$ の斜追波中で差が見られる。（トルク増加の斜追波中のデータはそれなかった）

b) 推力・トルクの変動量について

推力の変動量は向波・斜め向波中では増加量の約1/3程度のオーダーであるが、横波・斜め追波中では変動量と増加量は同じオーダーである。（斜め向波中で左舷トルク変動がとれていない）

2.1.5 むすび

本章では斜め波中における動搖特性とプロペラ特性の実験結果を述べた。動搖特性に関しては3つの船型或いは2つの船型の比較をおこない、船型の差の影響を考察した。プロペラ特性に関しては、2軸船の左右プロペラの比較をおこなったが、他船型との比較はなされていない。

今回の模型実験においては、プロペラ動力計に関し、

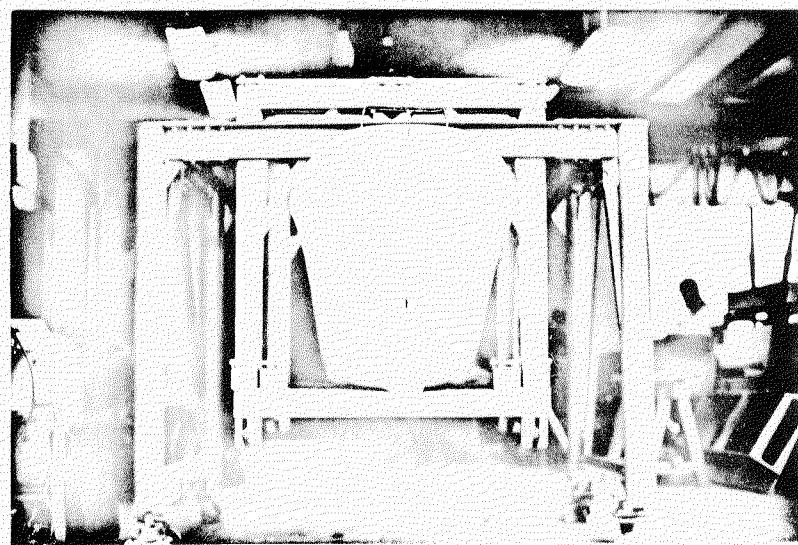
a) 磁気ひずみ式動力計の磁わい管の出力が、地磁気の影響を受けたこと

b) 2軸の左右動力計の周波数応答にやゝ差があったこと

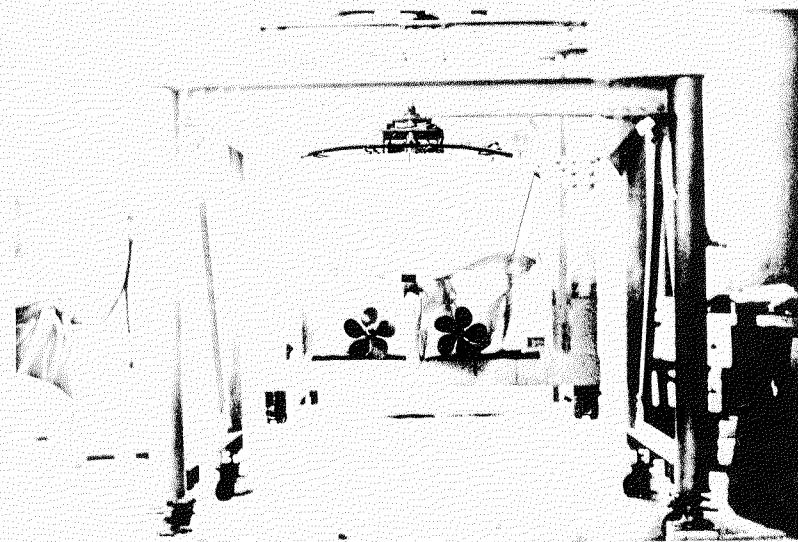
などの理由で斜め追波中のトルク増加と斜め向波中のトルク変動のデータに不充分な点があることが判明した。現在これを改良し、S-8船型に対する追加実験を実施中であるので、その結果は次の機会に参考資料として発表したい。

Principal Dimensions of the Ships

Items	Single Screw Ship (S-8)		Twin Screw Ship (T-8)	
	Ship	Model	Ship	Model
Length betw. p.p. L (m)	240.000	5.225	240.000	5.000
Breadth Mld. B ₀ (m)	30.000	0.653	30.000	0.625
Depth Mld. D (m)	18.189	0.396	24.000	0.500
Draft Designed d ₀ (m)	11.208	0.244	10.000	0.208
(Tested Condition)				
Draft fore d _f (m)	9.148	0.2057	10.000	0.208
Draft aft d _a (m)	10.629	0.2314	10.000	0.208
Draft mean d _m (m)	10.030	0.2186	10.000	0.208
Trim by the Stern t (m)	1.180	0.0257	0	0
Block Coefft. C _B (m)	0.562	0.562	0.561	0.561
Midship Coofft. C _M (m)	0.966	0.966	0.980	0.980
Water Plane Coefft. C _W	0.686	0.686	0.772	0.772
Displacement Vol. V (m ³)	40,606	0.419	40,400	0.365
Position of C.G. l _{cb} (m)	3.734	0.0813	6.02	0.1254
Height of C.G. KG (m)	11.111	0.2419	12.768	0.226
Metacentric Height GM (m)	1.157	0.0252	1.488	0.0310
Radius of Gyration K = K/L	0.240	0.240	0.247	0.247
Rolling Period T _r (sec)	19.451	2.87	18.845	2.72
Rudder Area A _R (m ²)	52.598	0.0249	54.6	0.0237
(inc. Horn)				
Depth (m)	0.533	0.0116	0.450	0.0094
Total Length (m)	60.000	1.3063	72.000	1.500
Length fore Midship (m)	27.000	0.5875	36.000	0.750
Length aft Midship (m)	33.000	0.7187	36.000	0.750
Diameter D _p (m)	8.914	0.1941	5.910	0.1231
Pitch Ratio P	1.055	1.055	1.245	1.245
Exp. Area Ratio	0.73	0.73	0.8372	0.8372
Blade Thickness Ratio	0.0446	0.0446	0.057	0.057
Boss Ratio	0.1846	0.1846	0.18	0.18
Angle of Rake (deg)	5°42'6	5°42'6	10°	10°
Number of Blade	5	5	5	5
Direction of Turning	Right	Right	Out	Out



(a) 船首より見た写真



(b) 船尾より見た写真

(b) Fig 2.1-1 2軸船(T-8)の船首尾の写真

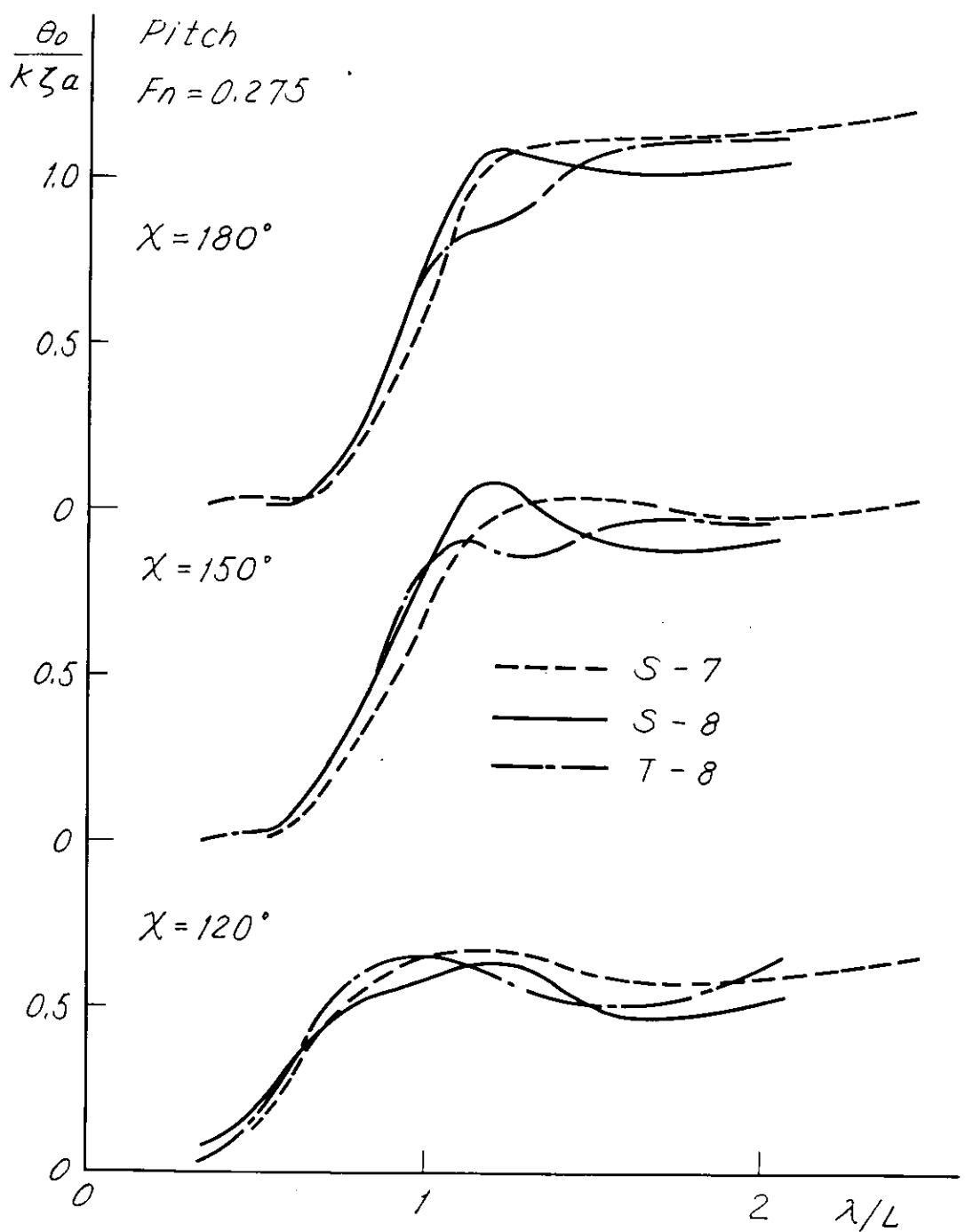


Fig. 2.1-2 縦揺れの実験値

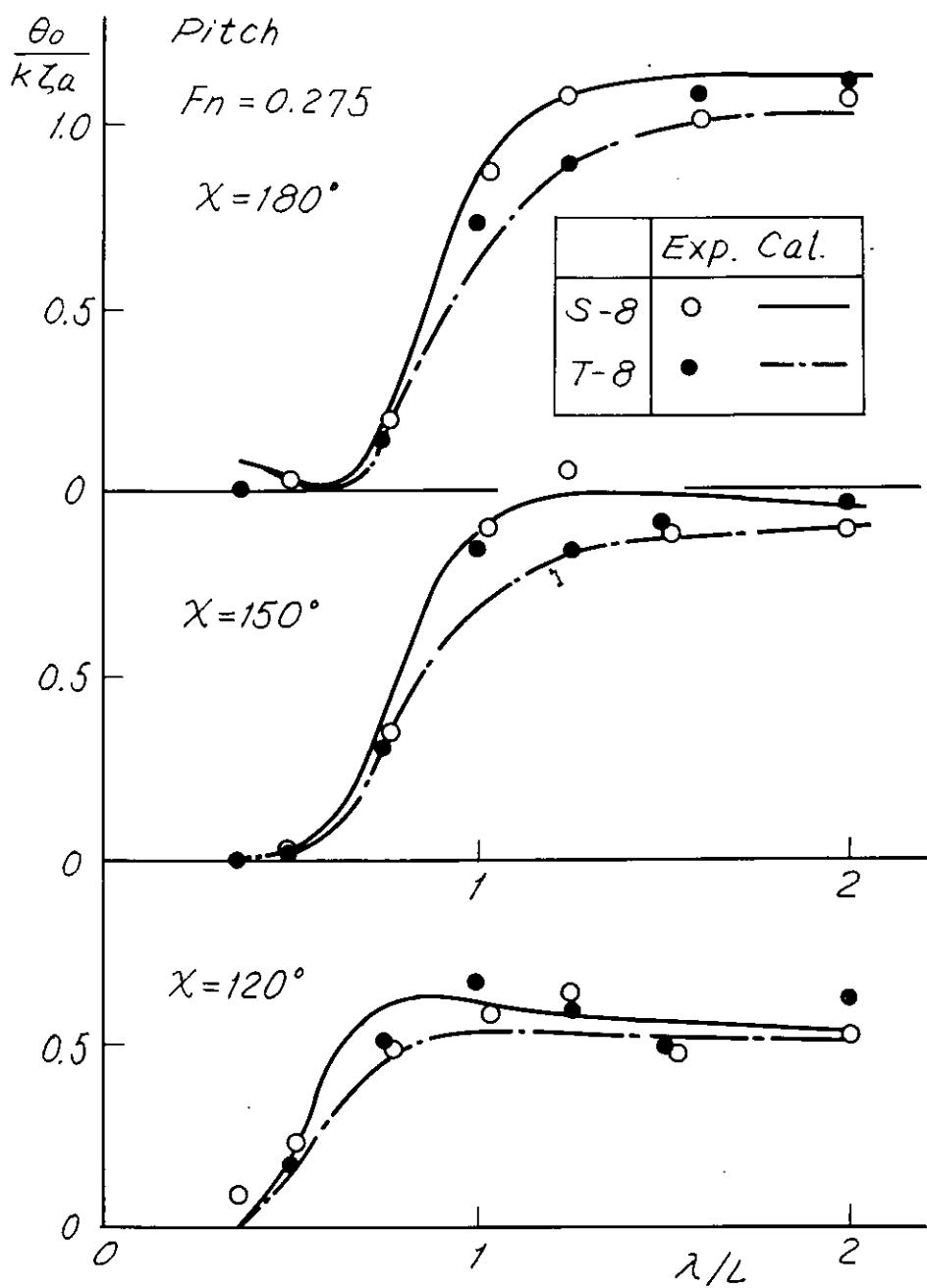


Fig. 2.1-3 縦揺れの実験値と計算値

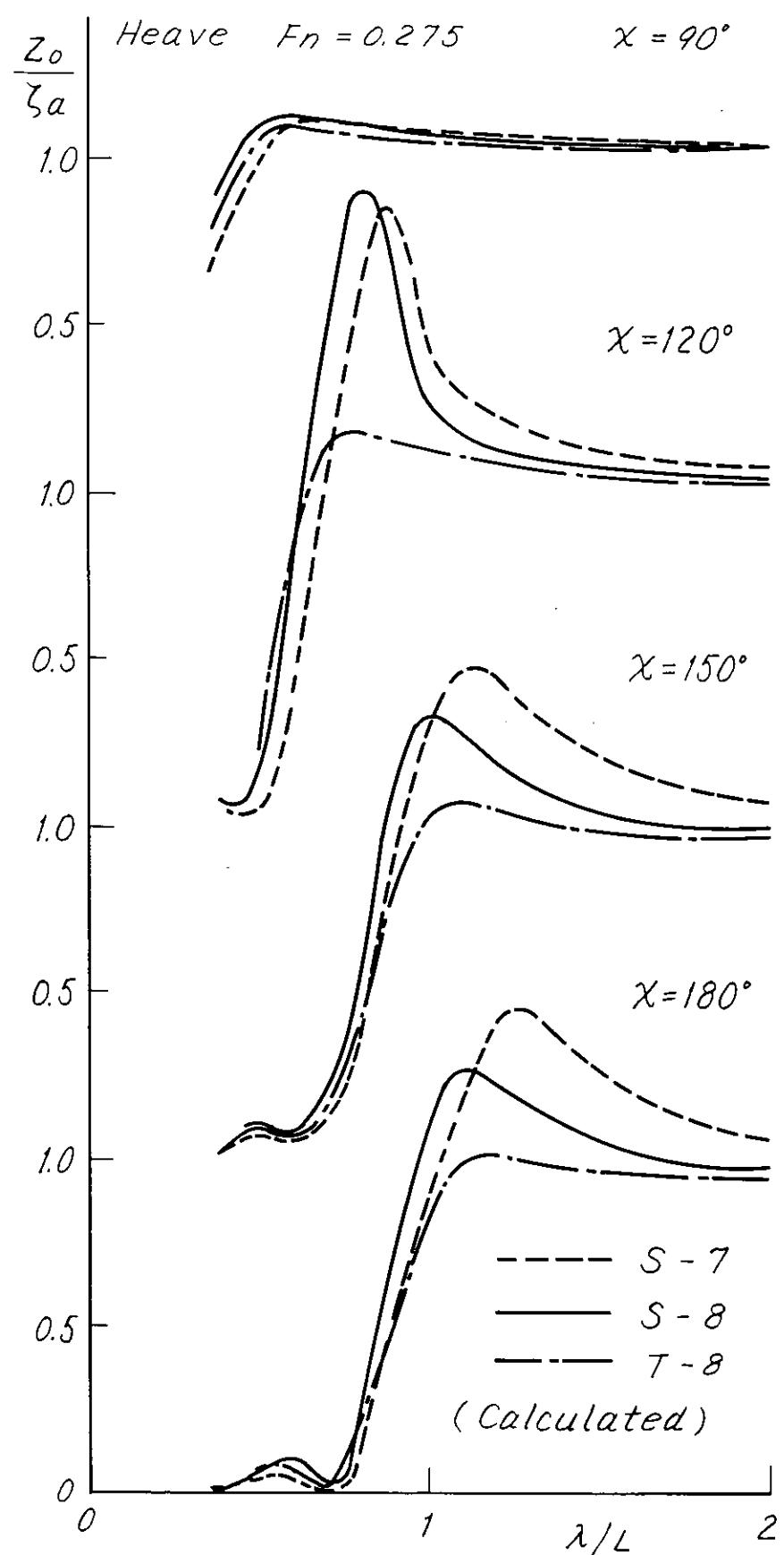


Fig. 2.1-4 上下揺れの計算値

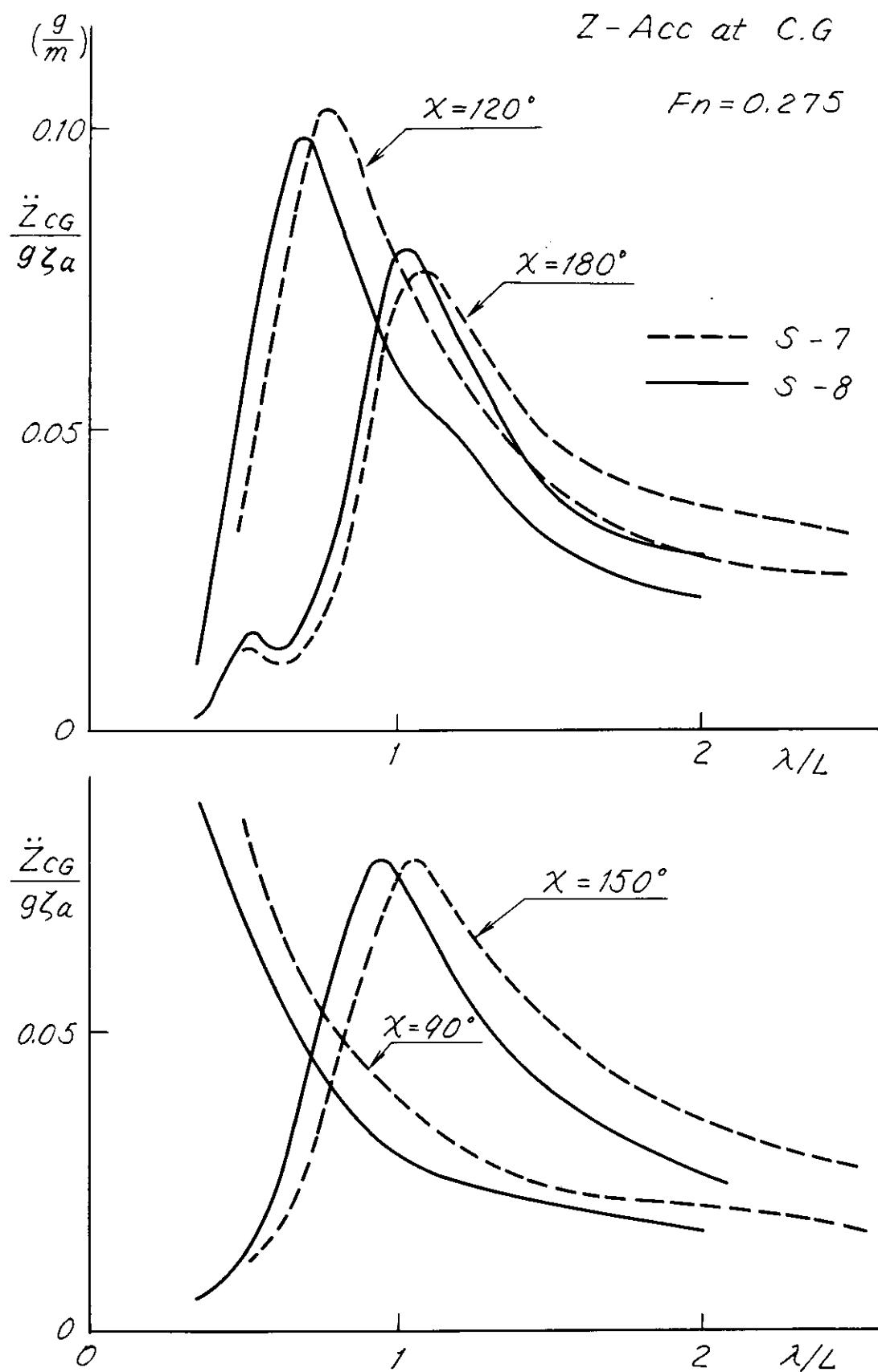


Fig. 2.1-5 重心の上下加速度の実験値

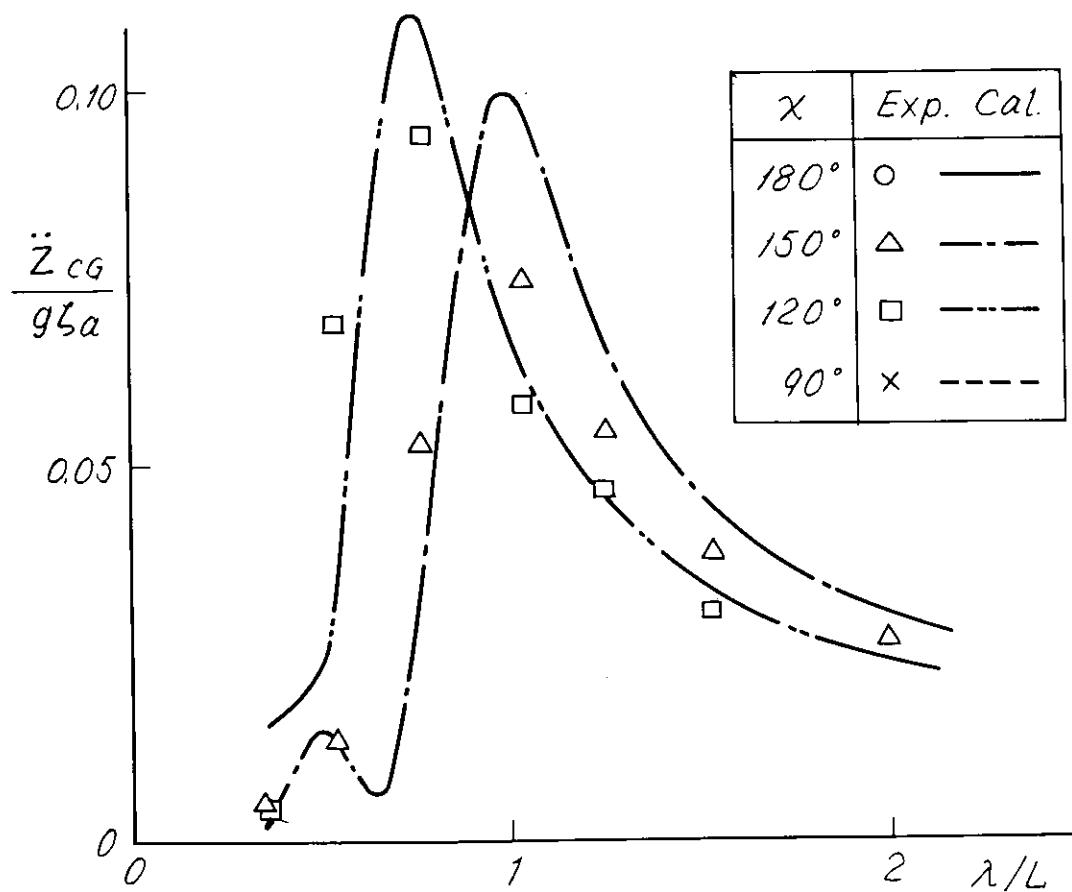
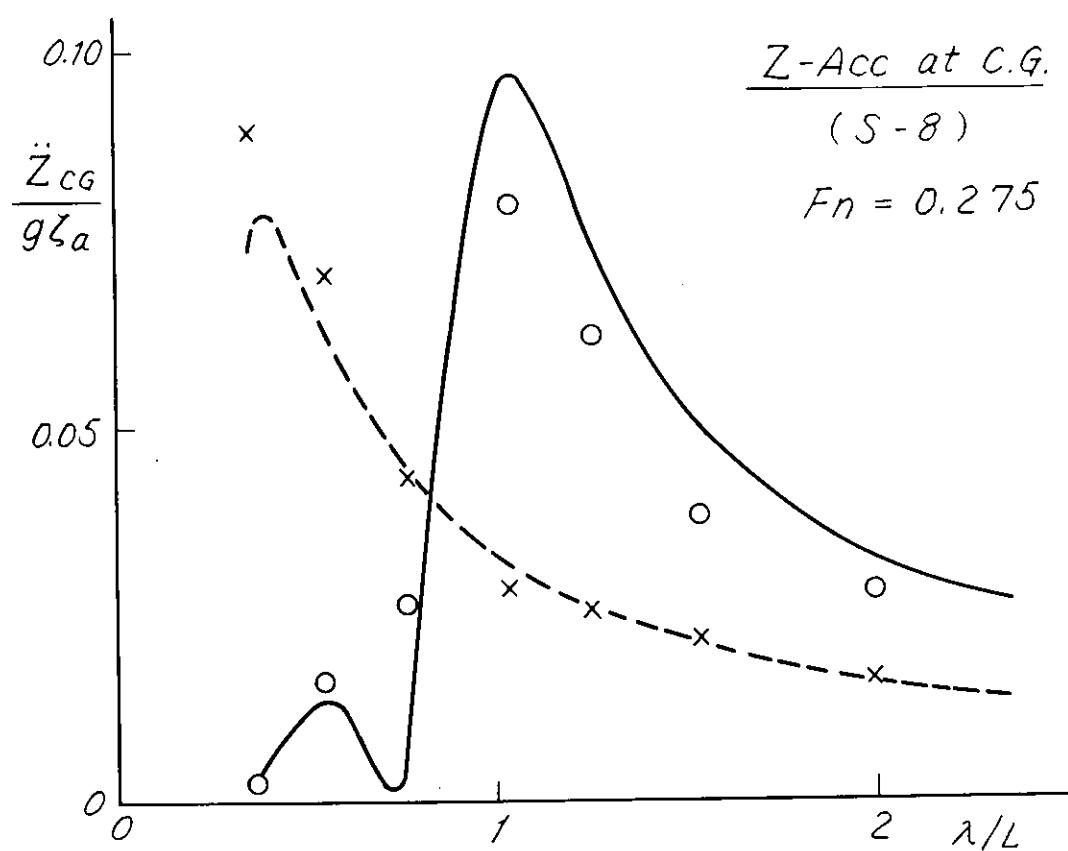


Fig 2-1-6 重心の上下加速度の実験値と計算値

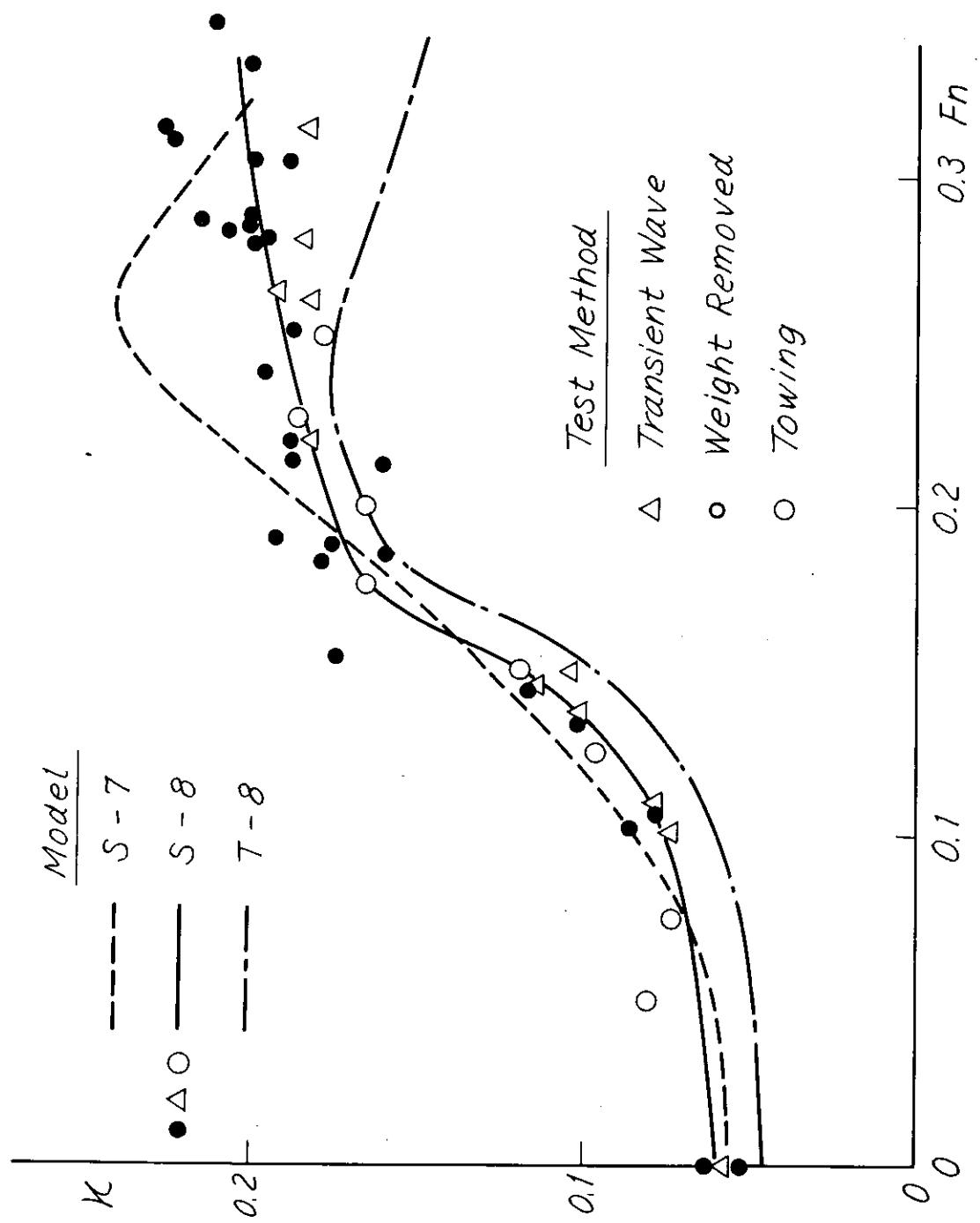


Fig. 2.1-7 自由横擺れの波長率

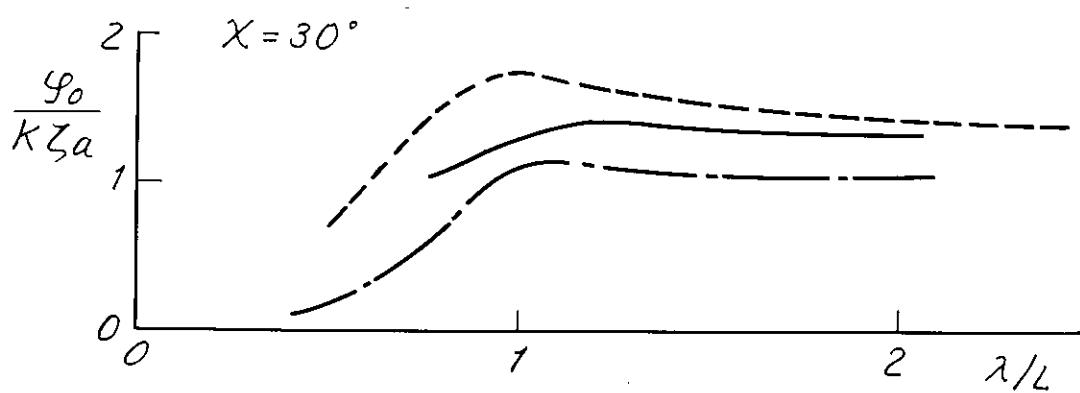
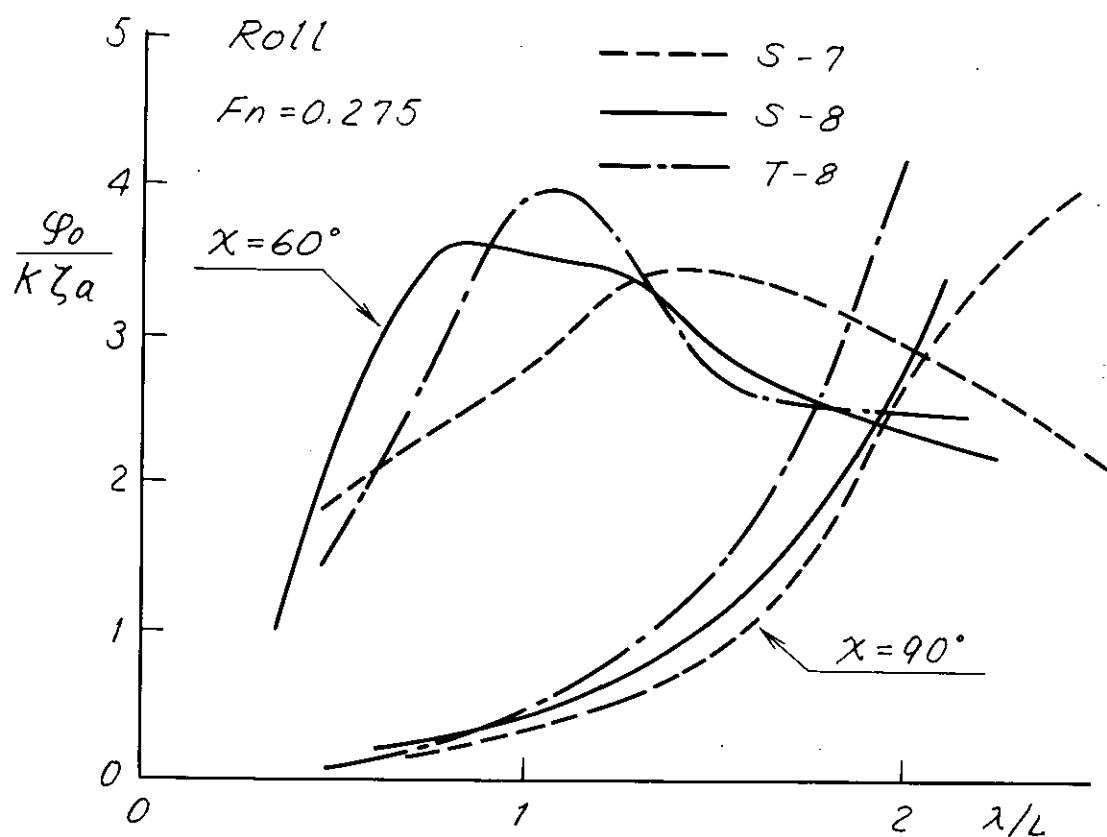


Fig. 2.1-8 横揺れの実験値

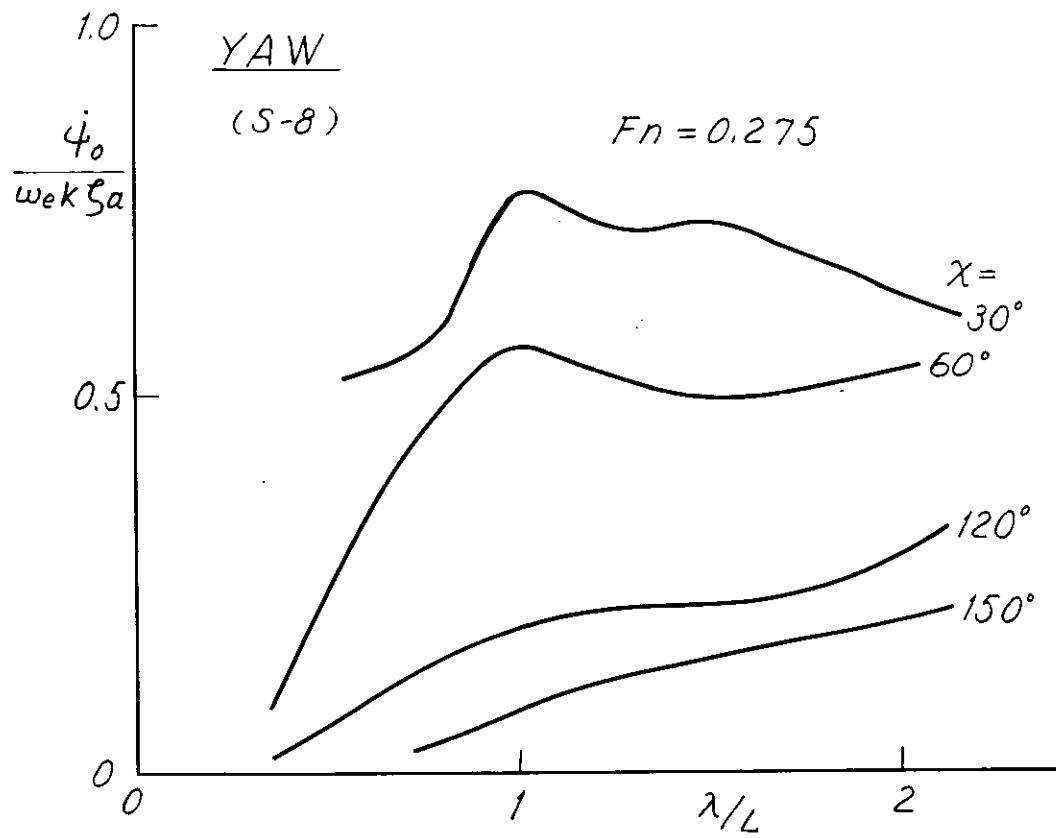


Fig. 2-1-9 船首揺れの実験値

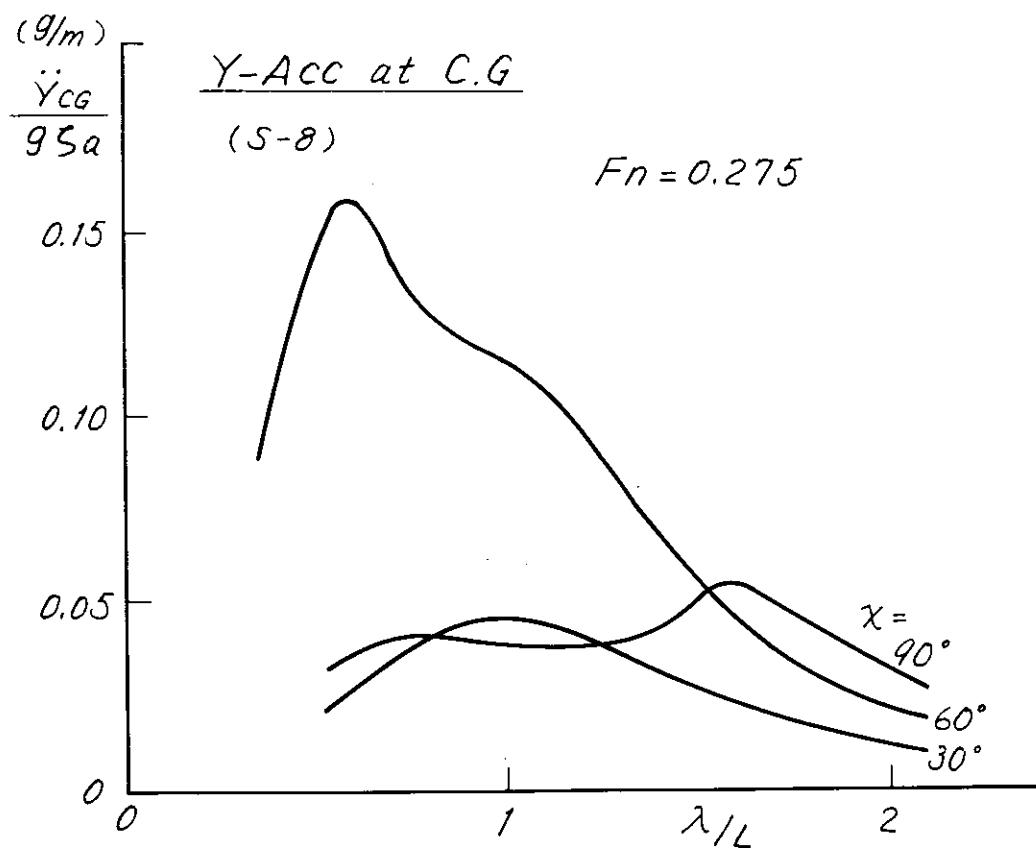


Fig. 2.1-10 重心の横加速度の実験値

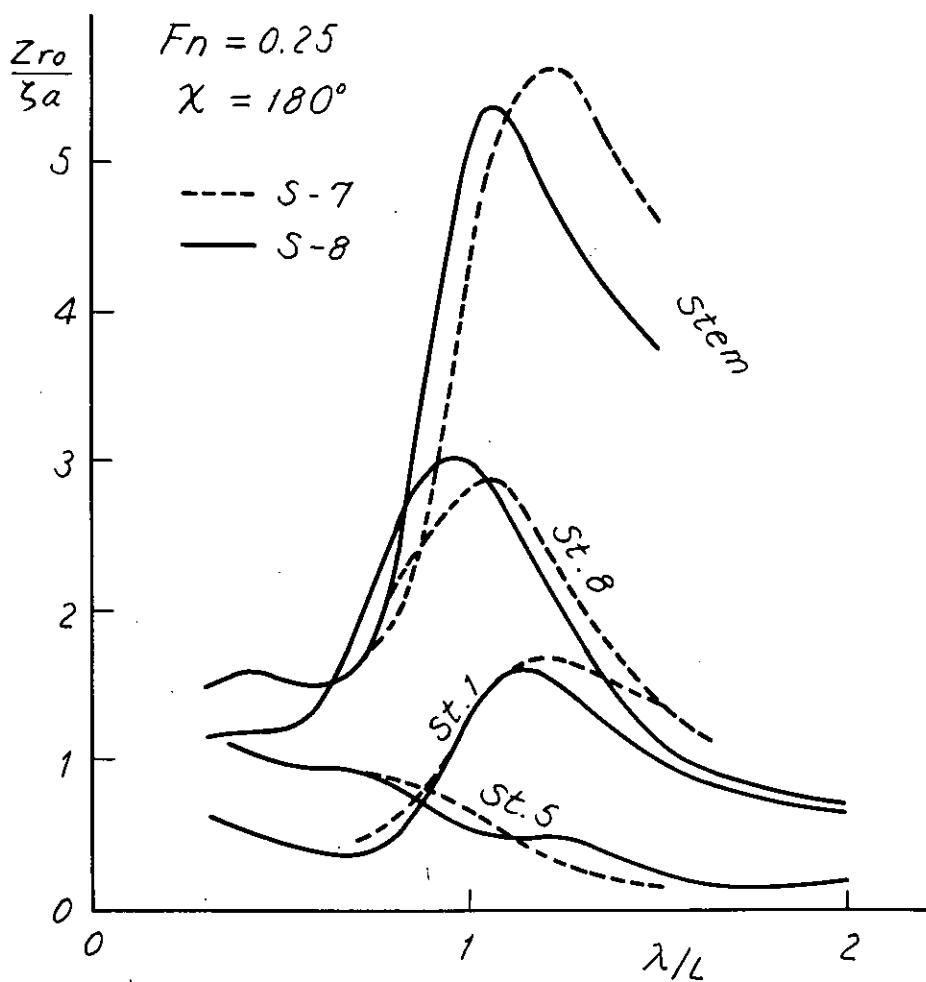


Fig. 2.1-11 向波中の船側相対水位変動の実験値

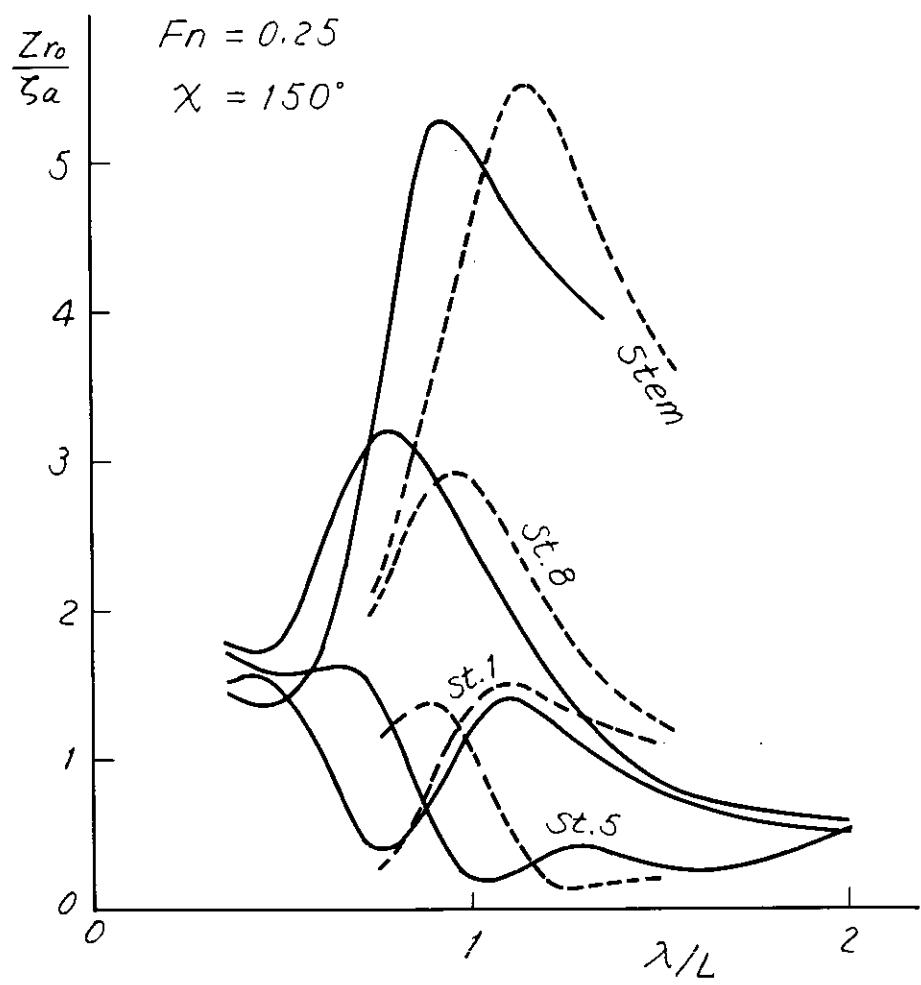


Fig. 2.1-12 斜め向波中の船側相対水位変動の実験値

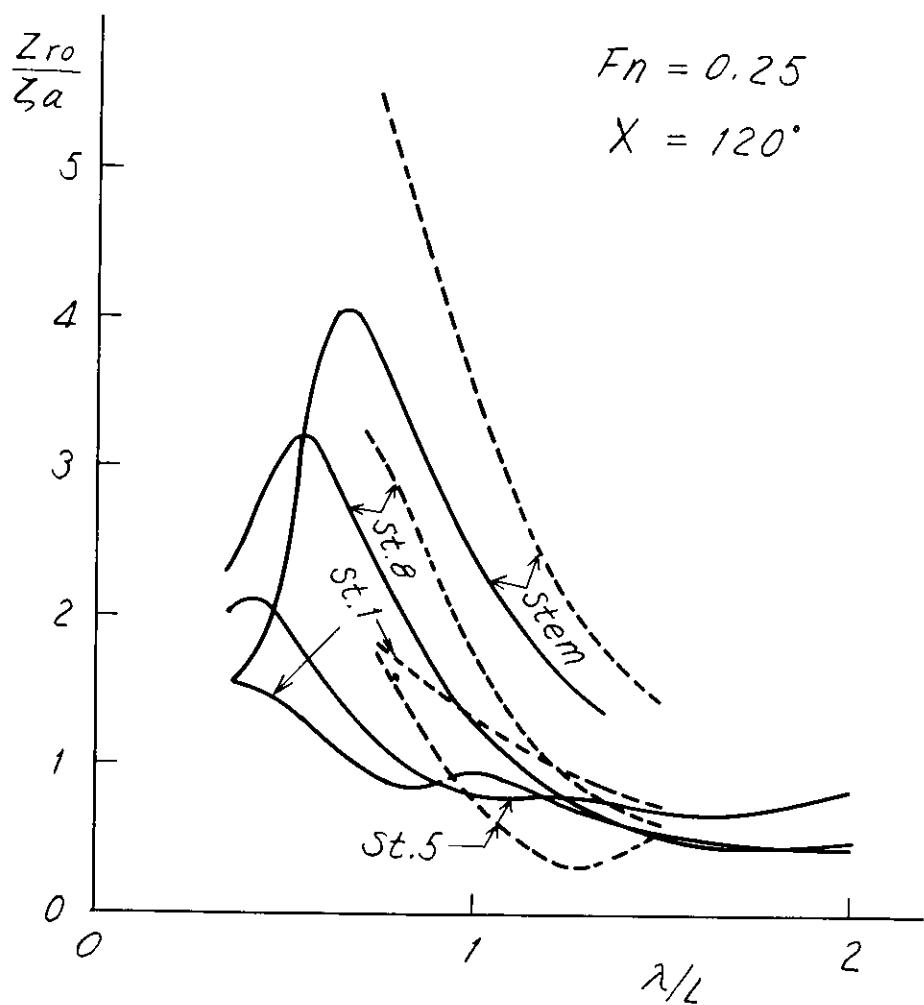


Fig. 2.1-13 斜め向波中の船側相対水位変動の実験値

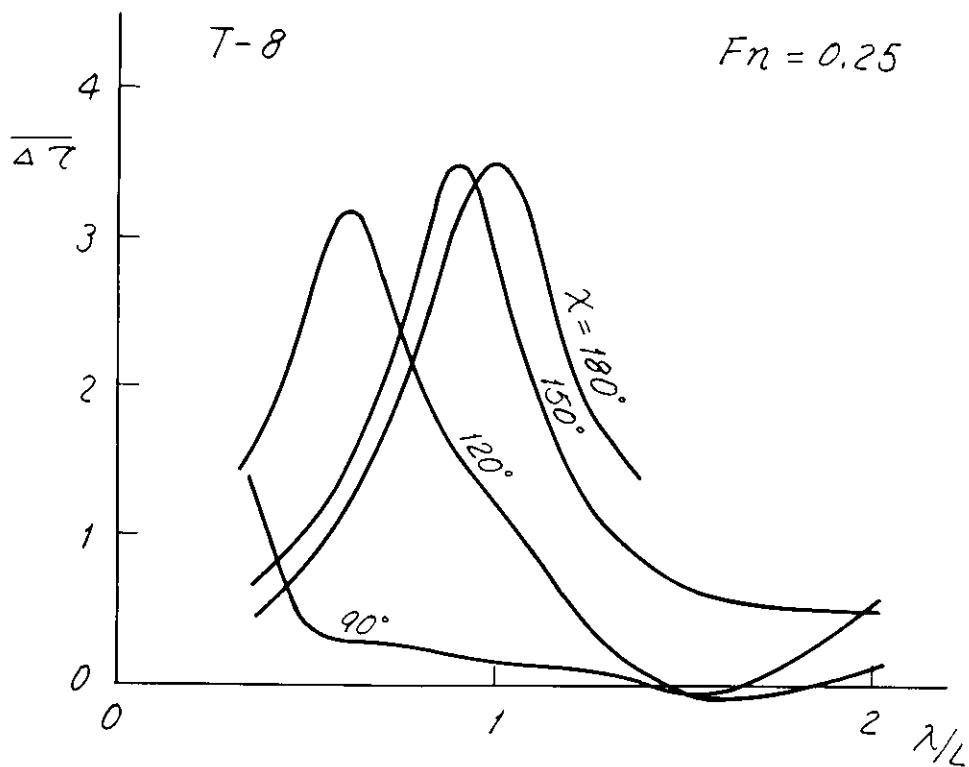


Fig. 2.1-14 2 軸船の推力増加（2 軸の和）

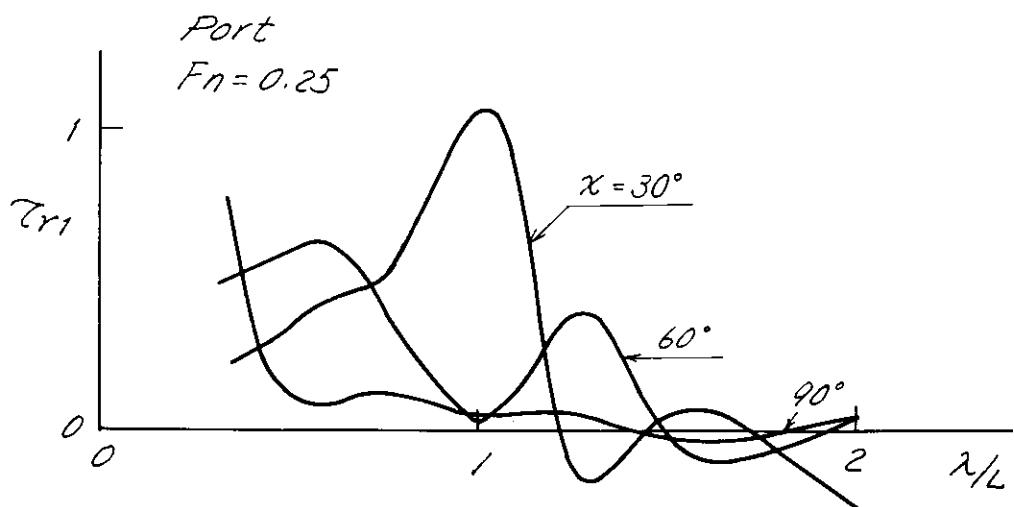
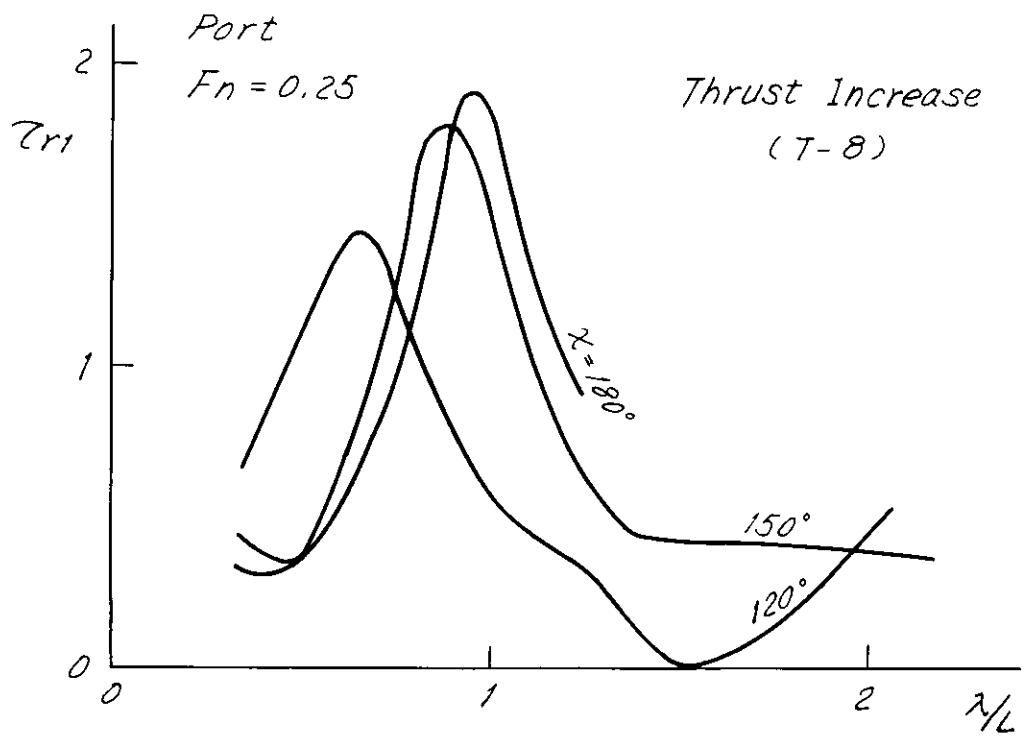


Fig 2.1-15 2 軸船の左舷プロペラの推力増加

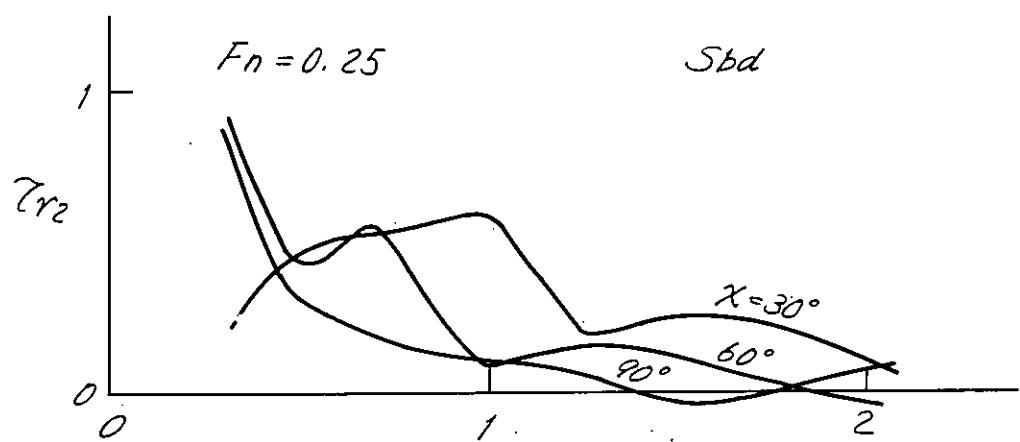
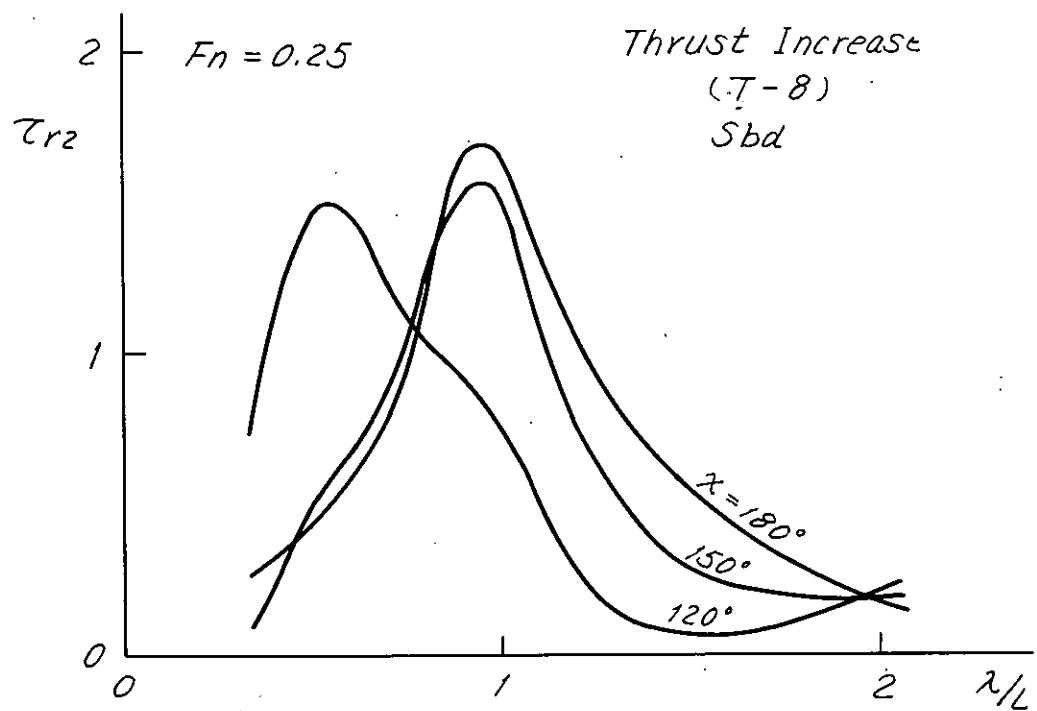


Fig. 2.1-16 2 軸船の右舷プロペラの推力増加

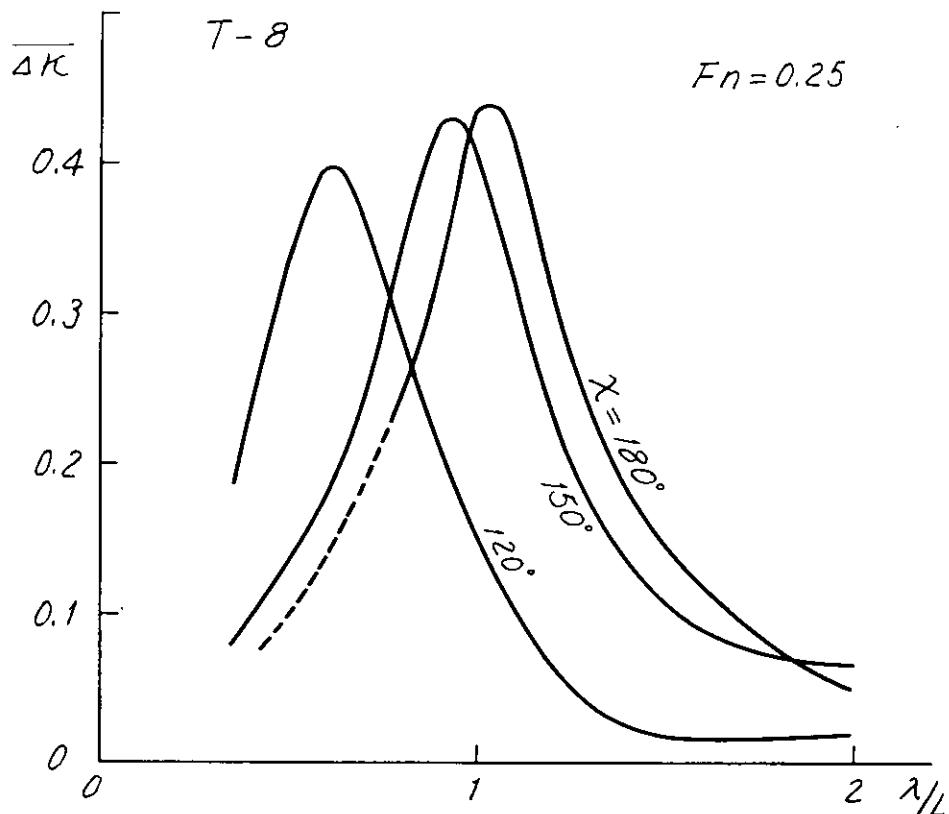


Fig. 2.1-17 2軸船トルク増加(2軸の平均)

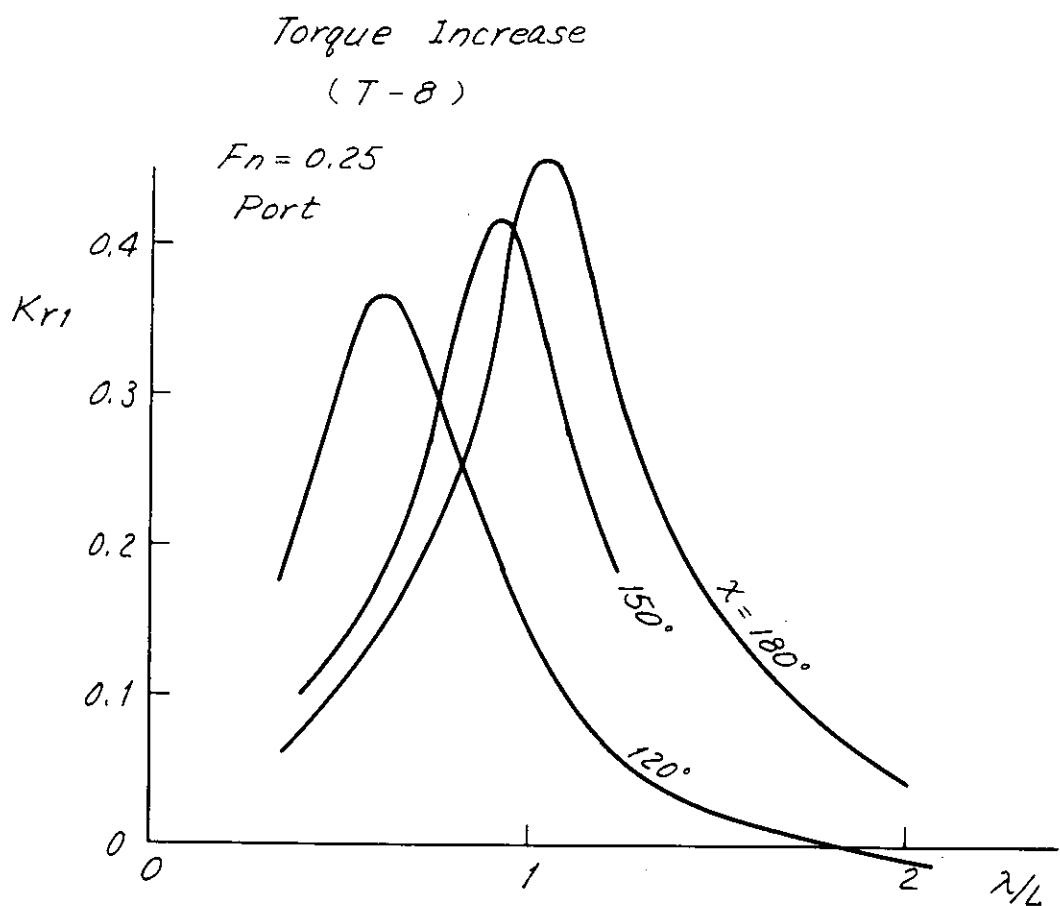


Fig. 2.1-18 2軸船左舷プロペラのトルク増加

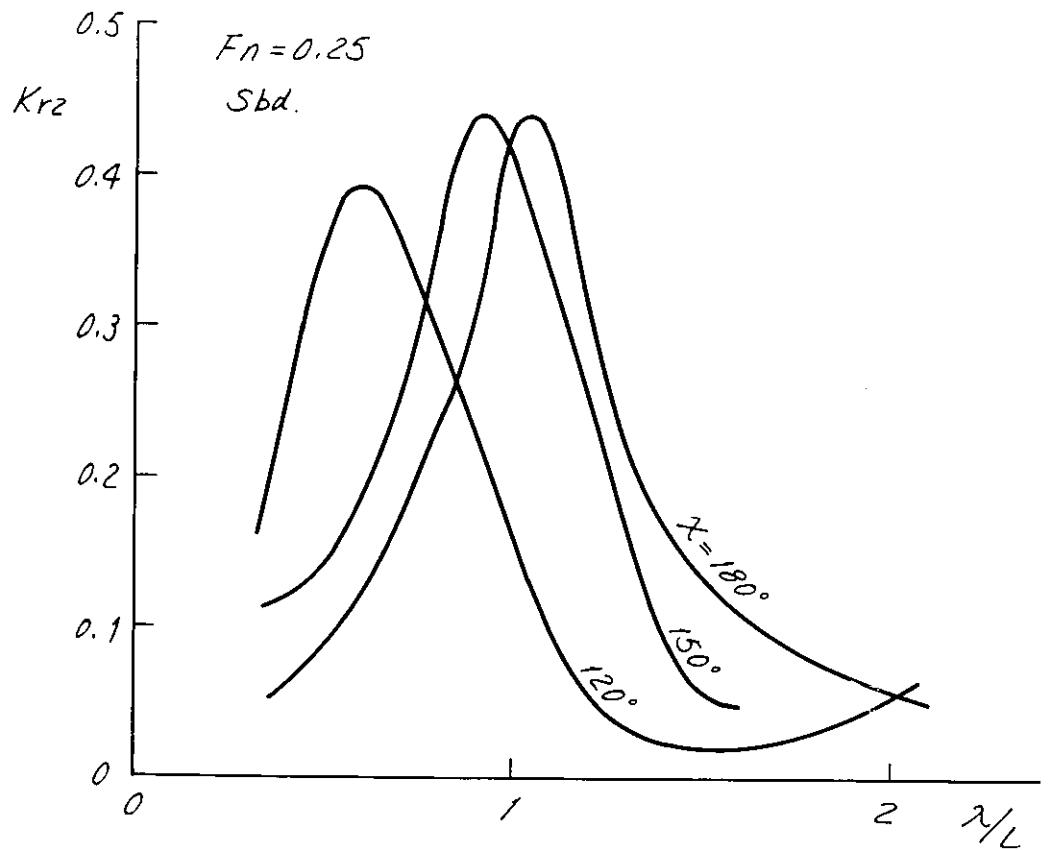


Fig. 2.1-19 2軸船右舷プロペラのトルク増加

Thrust Fluctuation

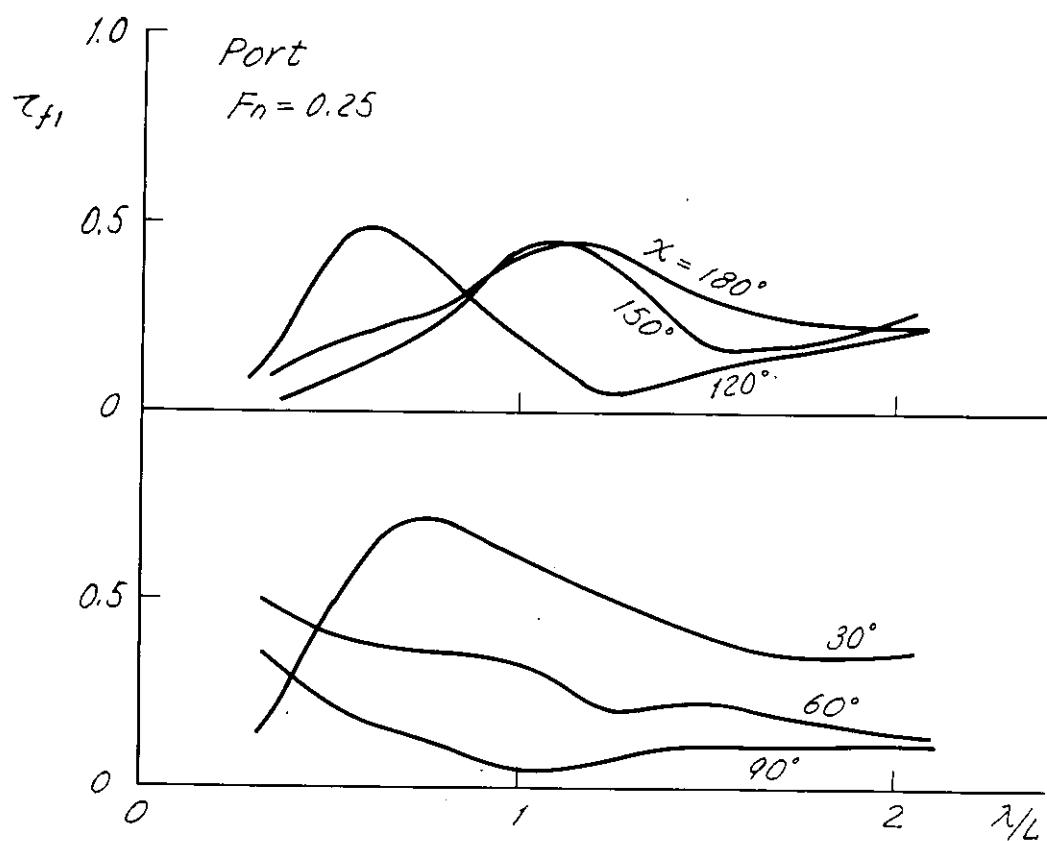


Fig. 2.1-20 2 軸船左舷プロペラの推力変動

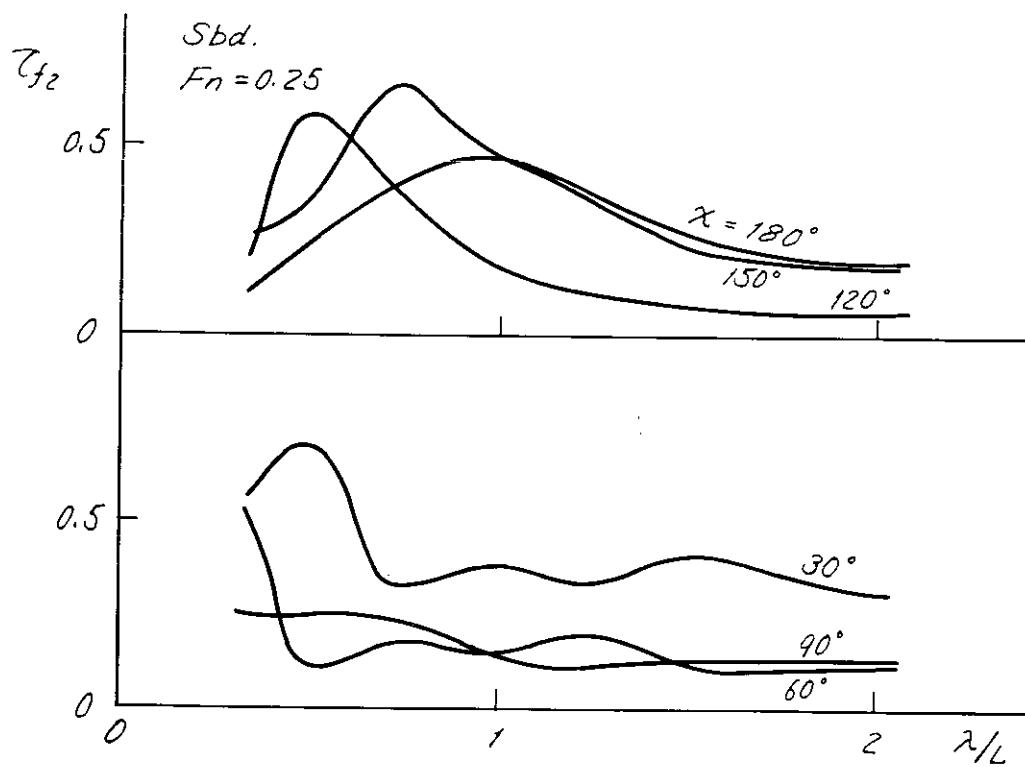


Fig. 2.1-21 2 軸船右舷プロペラの推力変動

Torque Fluctuation

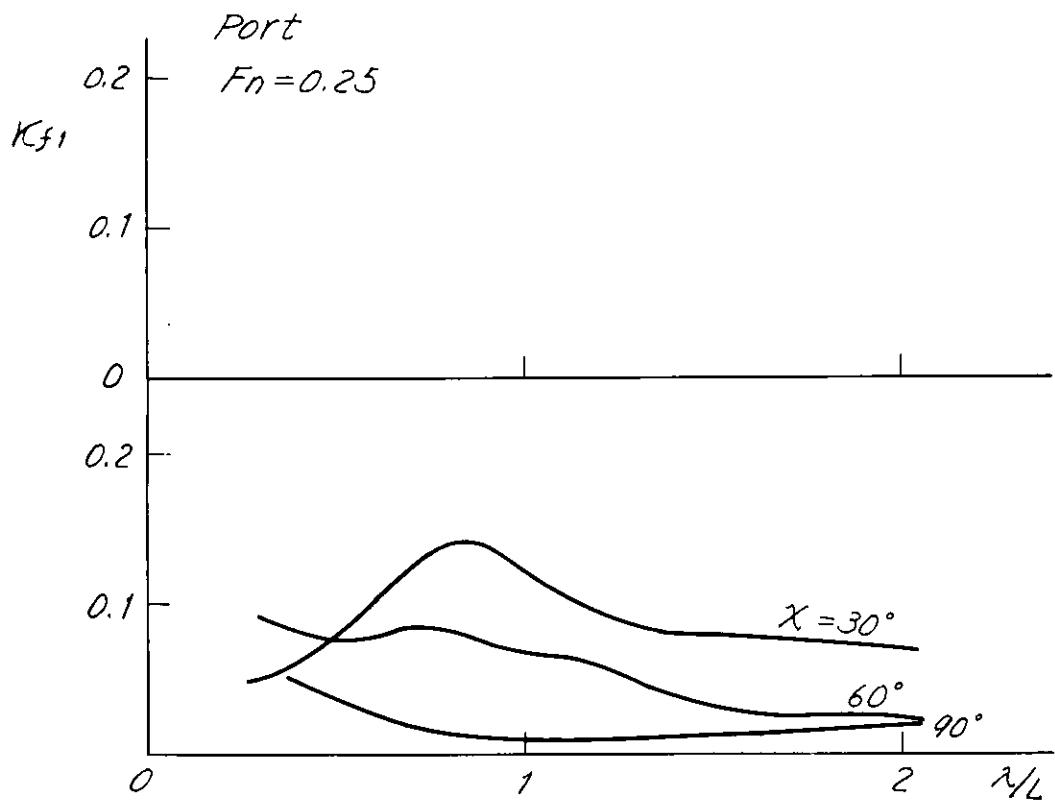


Fig. 2.1-22 2 軸船左舷プロペラトルク変動

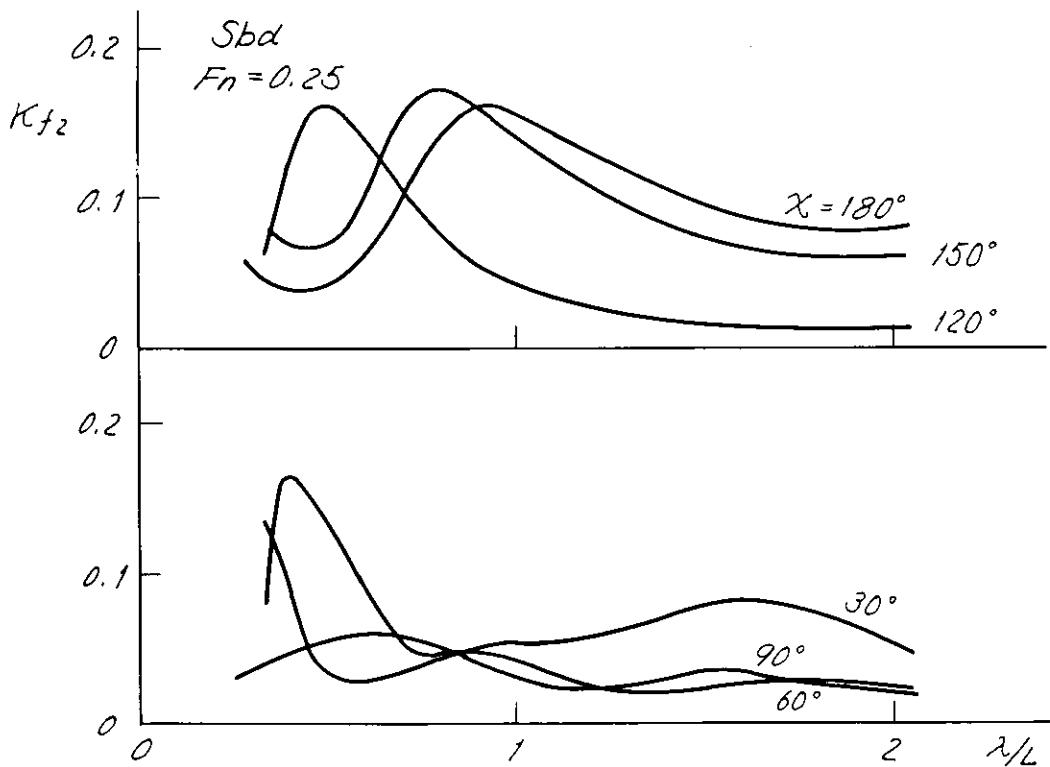


Fig. 2.1-23 2 軸船右舷プロペラトルク変動

2.2 横波中における波浪強制力の計測

2.2.1 目的 横波中を航走する船の運動を知るには、船が波から受ける強制力を正確に知る必要がある。現在いわゆるストリップ法による理論計算方式が広く使われているが、その計算結果を直接実験による計測値と比較した例はごくまれである。¹⁾ 今回の計測はとくに横波だけに限り、船速の相異が波浪強制外力に及ぼす影響を検討するために実施された。

2.2.2 模型船および計測装置

実験に使用された模型船は現在の一軸高速コンテナ一船の標準的船型のもので、その主要目をTable 2.2.1に示した。また波浪強制力（横波であるので、左右揺、横揺、船首揺の3成分）の計測は6分力検力装置を用いて行なわれた。なお、上述の模型船の詳しい船型や6分力検力装置については文献1）を参照されたい。

2.2.3 実験方法

6分力検力装置を介して曳船台車に拘束された模型船を、水槽中に発生させた波浪を真横に受けるように航走させて波浪強制力を計測した。船速はフルード数で $F_n = 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.32, 0.33$ の8通り変えた。また発生させた波はいずれも規則的な波で、波長／船長比で $\lambda/L = 0.5$ から 2.5 まで11通りとし、波高はほぼ波傾斜が一定になるように、波長とともに変化させた。大部分の実験は波傾斜 $\theta_w = 3^\circ$ であるが、 λ/L で $0.7, 1.0, 2.1$ については波傾斜の影響をみるために $\theta_w = 2^\circ, 4^\circ, 5^\circ$ でも計測を行なつた。

2.2.4 実験結果

計測された波浪強制力は、いずれも次のように無次元化されて示されている。すなわち、左右揺、横揺、船首揺の力およびモーメントの振幅を C_{sw}, C_R, C_Y とするとき、船長 L 、排水量 w 、波高 H 、波長 λ 、重心高さ GM を用いて

$$C_{sw} = \frac{F_{sw}}{\pi \frac{H}{\lambda} \cdot w}, \quad C_R = \frac{M_R}{\pi \frac{H}{\lambda} w \cdot GM}, \quad C_Y = \frac{M_Y}{\pi \frac{H}{\lambda} \cdot w \cdot L}$$

で計算された C_{sw}, C_R, C_Y を用いた。

船速をパラメーターにして、横軸に λ/L をとり、縦軸に C_{sw}, C_R, C_Y をとつて、計測結果を示したのが、Fig. 2.2.1～2.2.3である。また全く同じ結果を横軸に船速 F_n をとり、 λ/L をパラメーターとして図示したのが、Fig. 2.2.4～2.2.6である。Fig. 2.2.7～2.2.9は波傾斜 θ_w を変化させたときの結果で、表示のしかたはFig. 2.2.4～2.2.6のものと同一である。

2.2.5 実験結果に対する考察

波浪強制外力に対する λ/L 影響を図示したFig. 2.2.1～2.2.3を見るといずれも λ/L の増大、すなわち波長の増加と共に著しく強制外力が大きくなっていることがわかるが、この結果をそのまま受取つて良いかは多少問題がある。というのは、本実験が波傾斜一定で行なわれたため、 λ/L の大きいところでは波高も大きく、したがつて拘束模型の船側での波面の変化が著しく、極端にいうと模型船が丁度波の谷と山にあるとときの水面下の形状は全く異なる船のような感を呈していた。このため大波高時の三分力計測波形も波の周波数と同一の正弦波形とならず、正弦波形の上に倍周波数の波形が重畠されたような波形となつていた。この影響は、とくに船首揺の強制外力に顕著で λ/L が $2.5, 2.1, 1.7, 1.3, 1.1$ 等で低速時のデータが欠けている(Fig. 2.2.6)のは、倍周波数の波形の重畠のため、記録から正確な強制外力が読み取れなかつたためである。

よつて今後、波浪強制力の計測実験を行なうときは、波高一定で、しかも水面下の形状が、波の山谷の変化によつてもそれほど変化しないような低波高で実験すべきであろう。これは、とくにストリップ法などの理論計算と比較するときは尚更である。

次に各強制外力について簡単にまとめると

a. 左右搖の強制力

Fig. 2.2.4 から明らかなように強制力に及ぼす船速の影響はほとんどないと考えられる。また Fig. 2.2.7 に示した波傾斜を変えた実験は、波高を変えた実験ということも出来るが、図によれば λ/L が大きい場合には波傾斜の相異による影響が、 λ/L の小さい場合のそれにくらべて著しいことがわかる。ただし、同じく波傾斜を 1 度だけ変えたといつても λ/L が大きければ、それによる波高の変化も大きいわけであるから、上述のような理由で、直接比較するのに多少の問題があろう。

b. 横搖の強制モーメント

Fig. 2.2.2 あるいは Fig. 2.2.5 から明らかなように、船速の強制モーメントに及ぼす影響はほとんどないと考えられる。なお、Fig. 2.2.2 に見るとおり λ/L の増大とともにほぼ直線的に C_R が増大していて、 λ/L が十分大きくなれば C_R がほぼ一定値に近づくという通常の常識に反するが、これは恐らく上述した波高の影響と思われる。

また、波傾斜の影響は、 λ/L が 2.1 の場合も、左右搖ほど大きくない。しかし、やはり波傾斜の影響は無視できない。

c. 船首搖の強制モーメント

Fig. 2.2.3 または Fig. 2.2.6 より明らかのように、船速の影響があり、船速が増すにつれて、強制モーメントは大きくなっている。これは波の orbital motion と船速から生ずる circulation によるものと考えられる。

ただし、Fig. 2.2.6 や Fig. 2.2.9 からもわかるように、 λ/L が小さい 0.7 以下の場合と、それより大きい場合では船速の影響の出方が異なっている。すなわち $\lambda/L = 0.7$ ではほとんど船速の影響はなく、それ以下の λ/L では、むしろ、船速の増大とともに幾分強制モーメントが減少している。

また波傾斜の影響も明らかに存在する。

参考文献

- 日本造船研究協会：第 108 研究部会 研究資料 16125

昭和 46 年 3 月

Table 2.2-1 模型船の主要目

垂線間長 (m)	2.500
型幅 (m)	0.3629
吃水 (m)	
平均	0.1214
前部	0.1143
後部	0.1286
排水量 (kg)	61872
方形係数 (C_B)	0.559
L.C.B	0.0452 m ⊗より後方
K.G (m)	0.1341
K.M (m)	0.1484
G.M (m)	0.0143

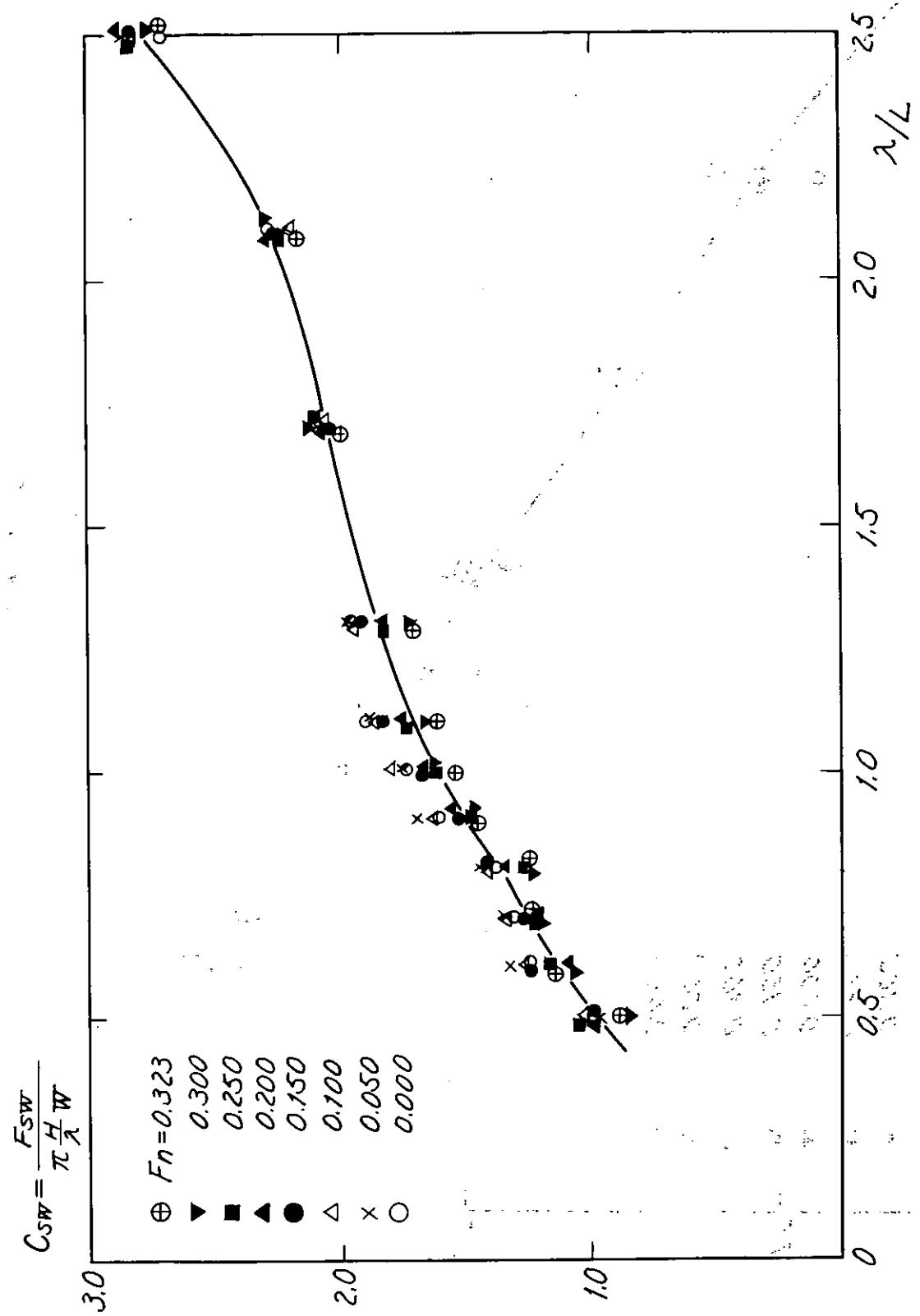


Fig. 2.2-1

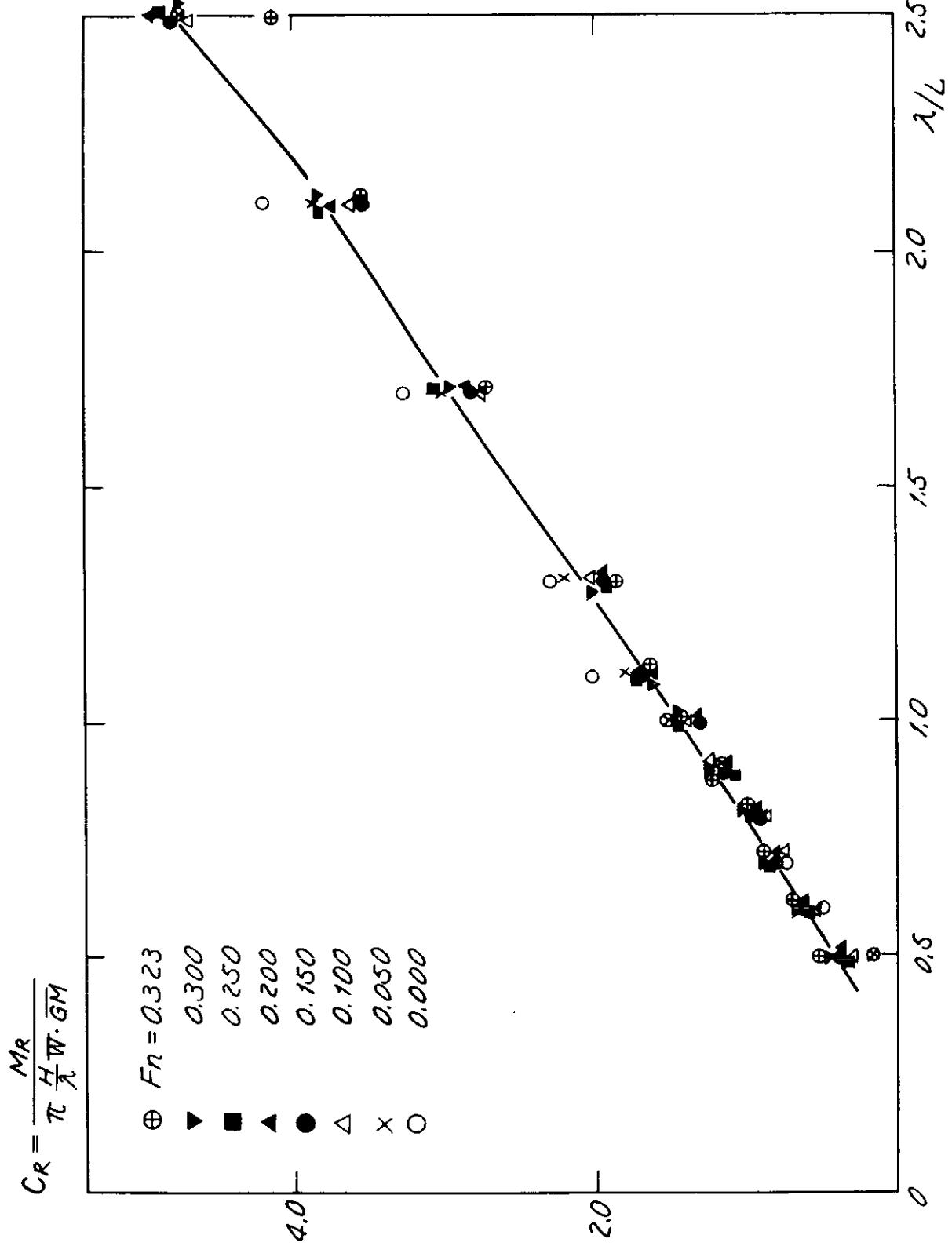


Fig. 2. 2-2

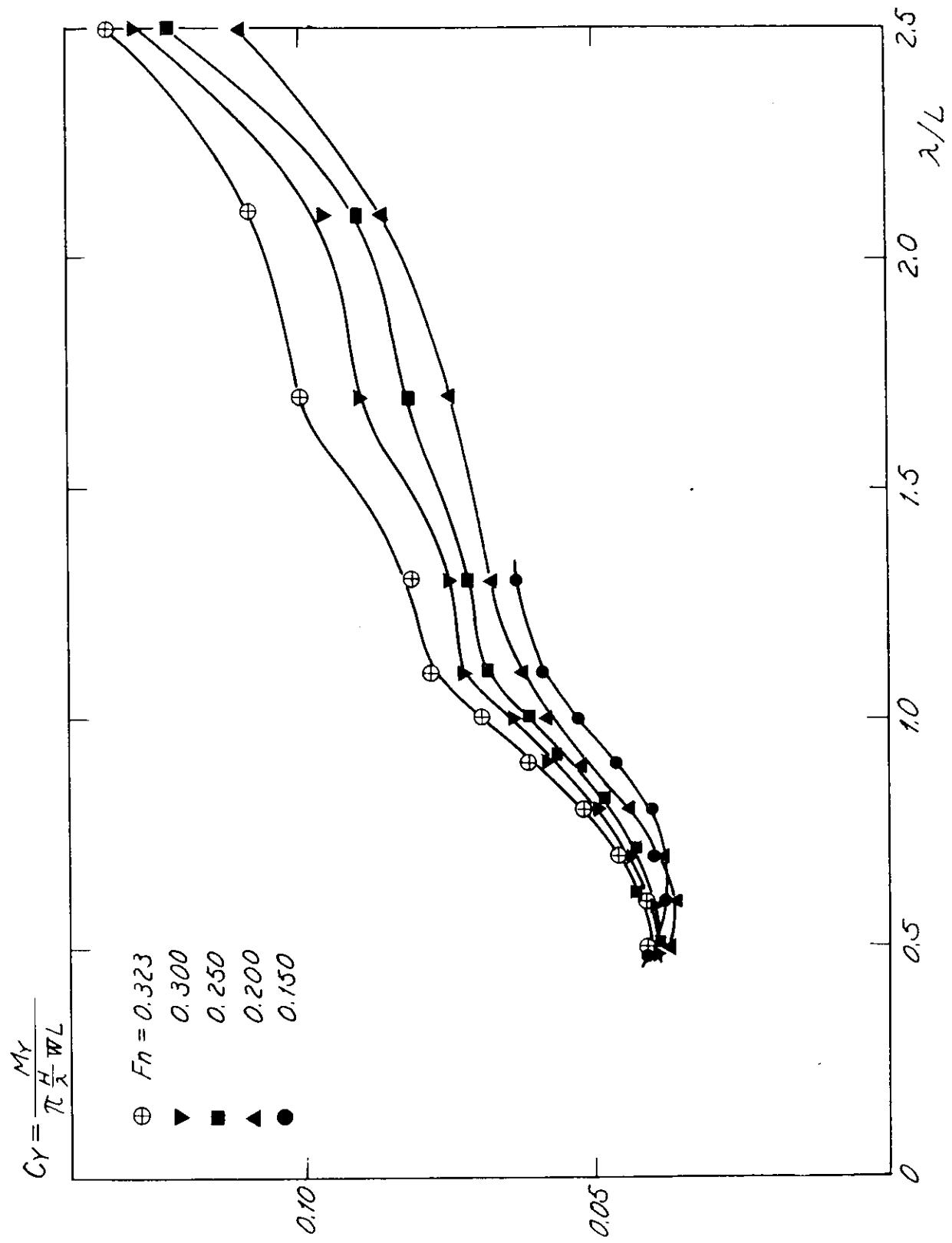


Fig. 2-2-3

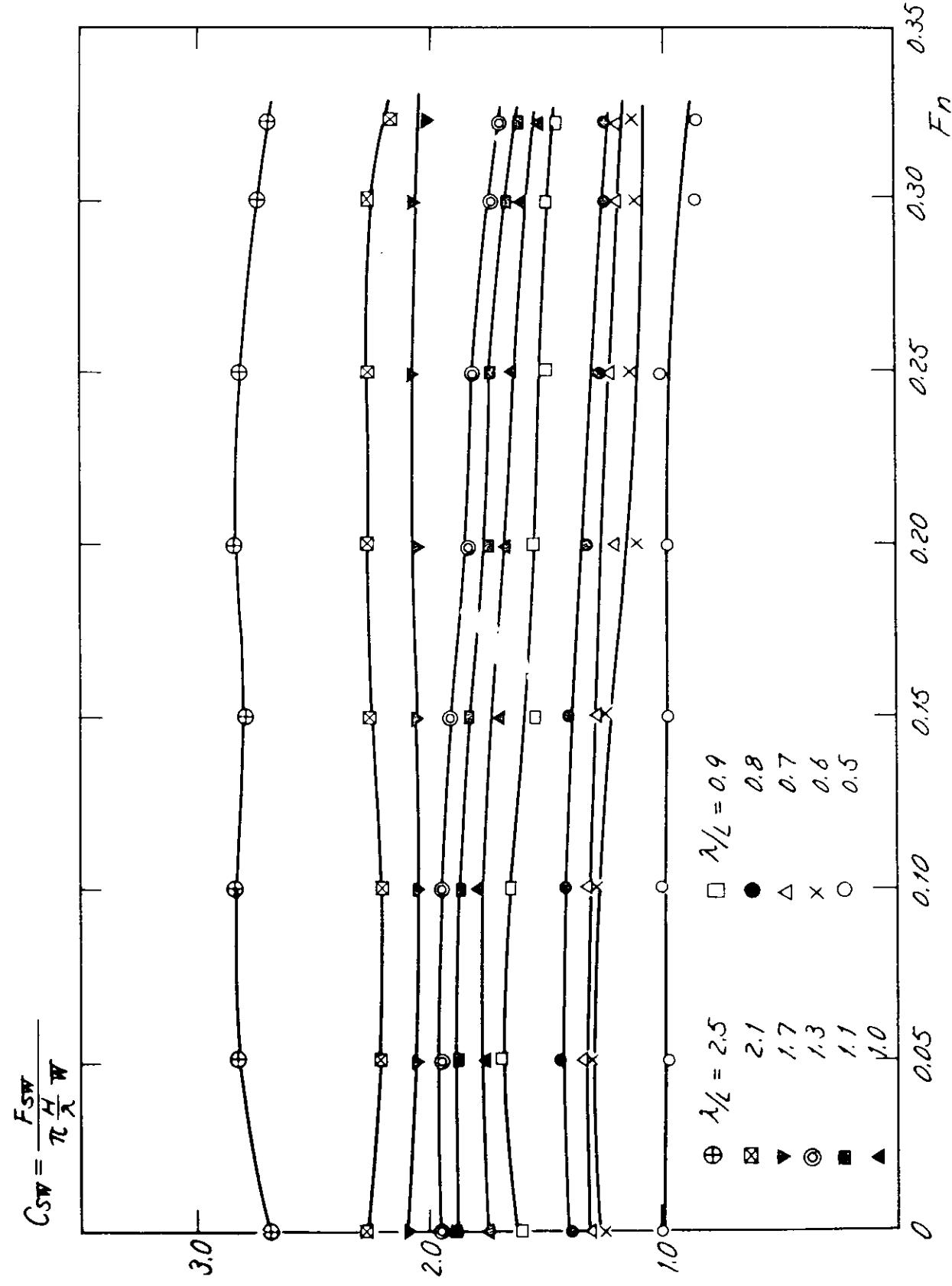


Fig. 2. 2-4

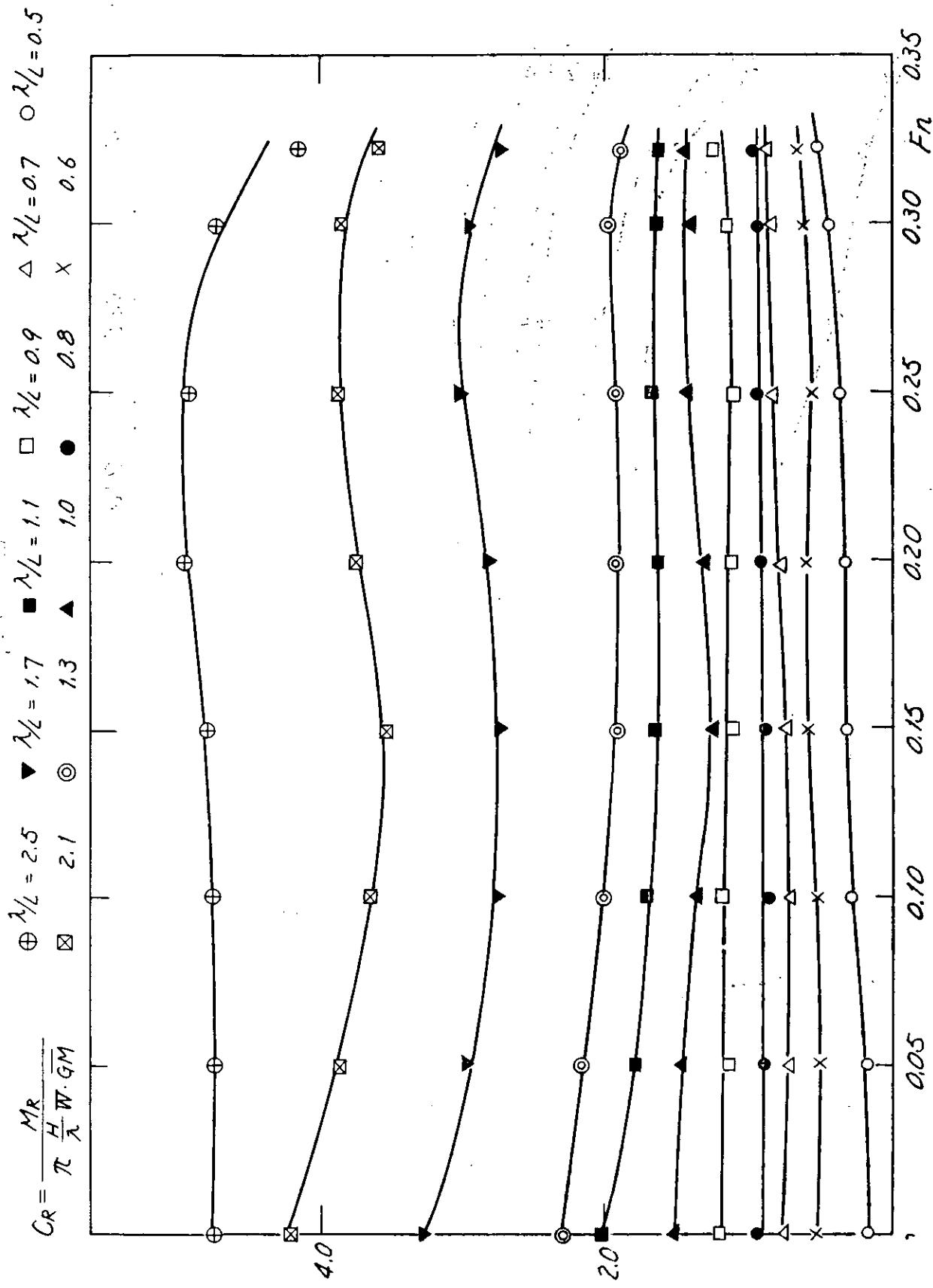


Fig. 2.2-5

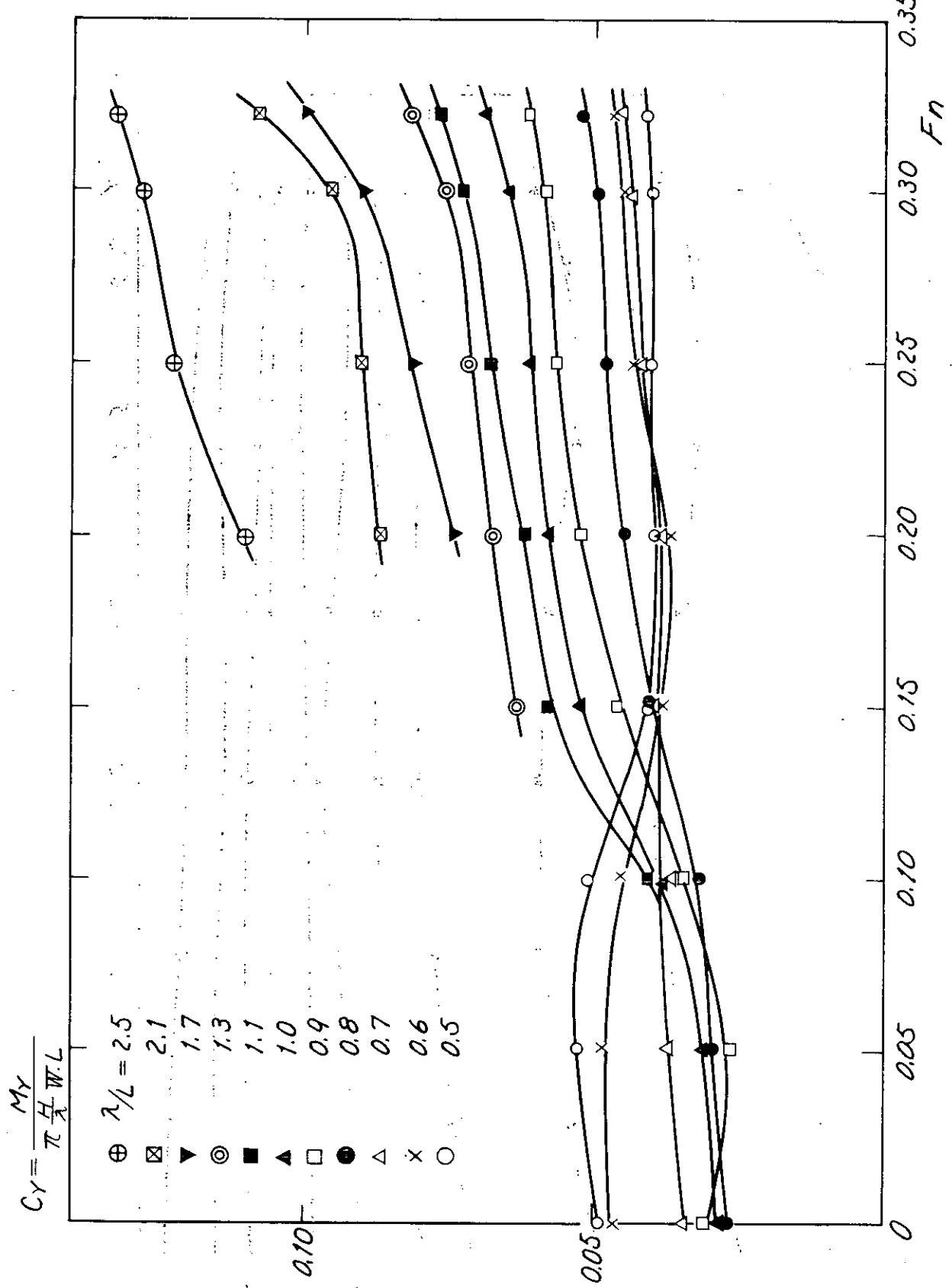


Fig. 2.2-6

$$C_{SW} = \frac{F_{SW}}{\pi \frac{H}{\lambda} W}$$

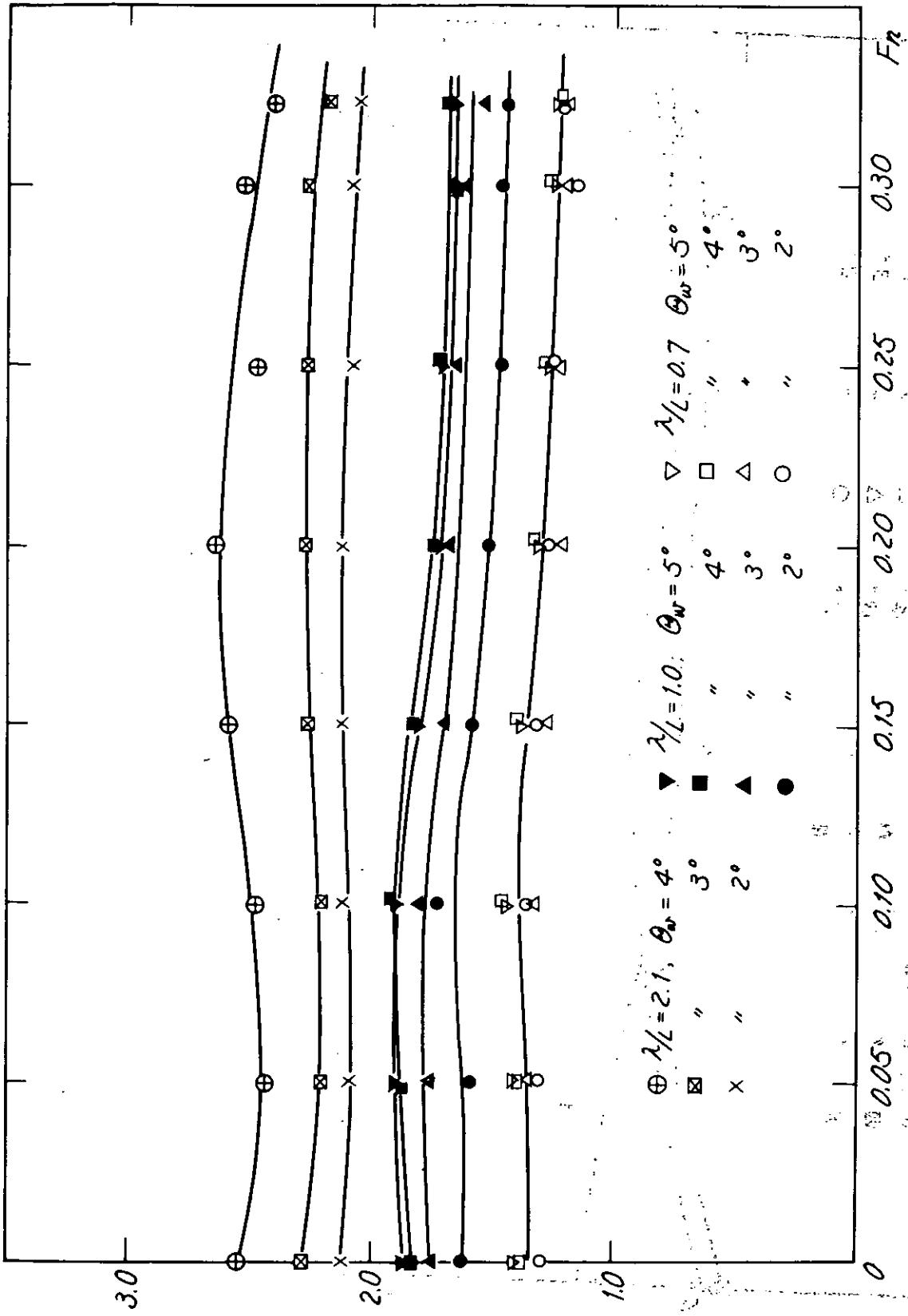


Fig. 2.2-7

$$C_R = \frac{M_R}{\pi \frac{H}{\lambda} W \cdot GM}$$

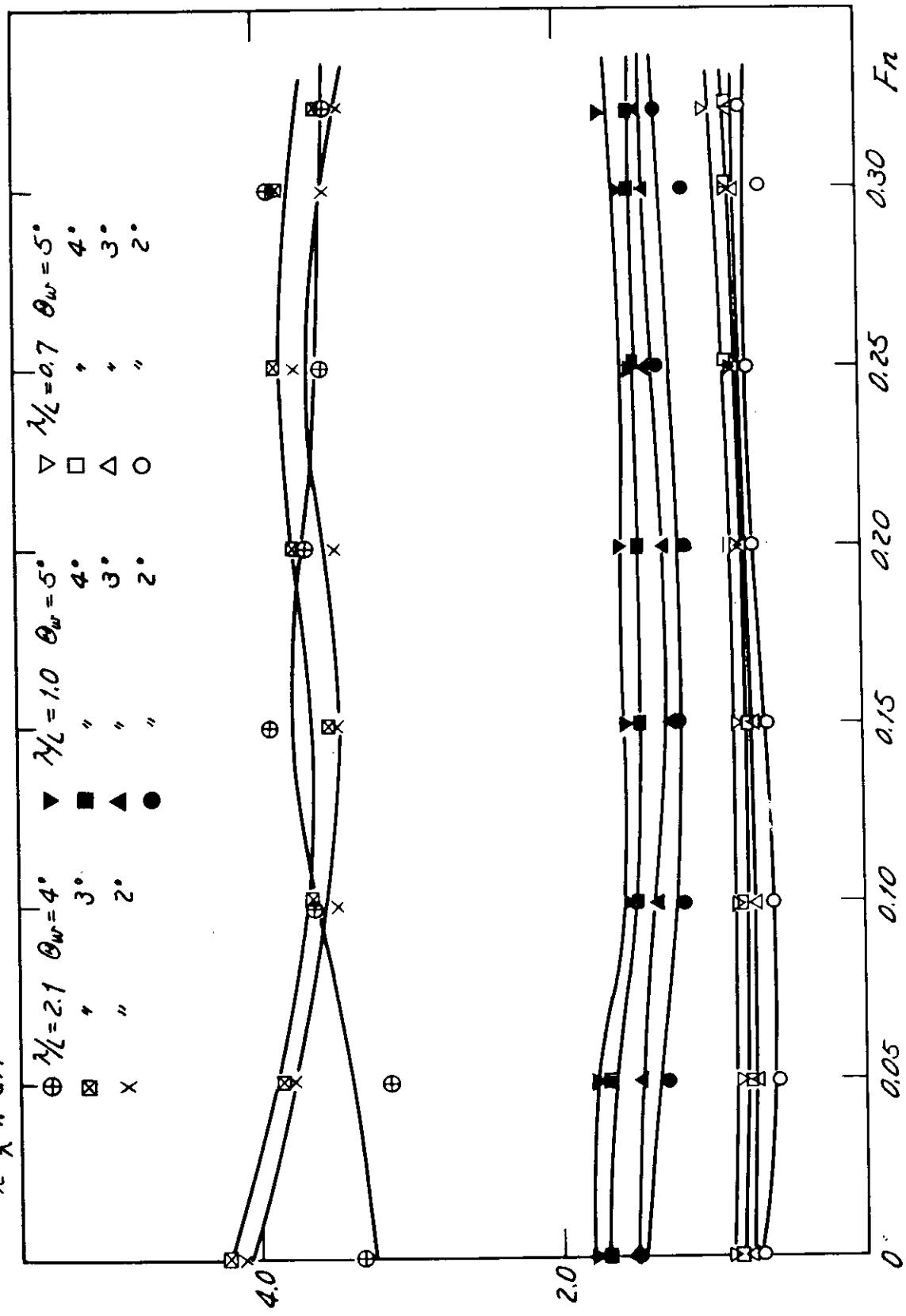


Fig. 2.2-8

$$C_Y = \frac{M_Y}{\pi \frac{H}{\lambda} W \cdot L}$$

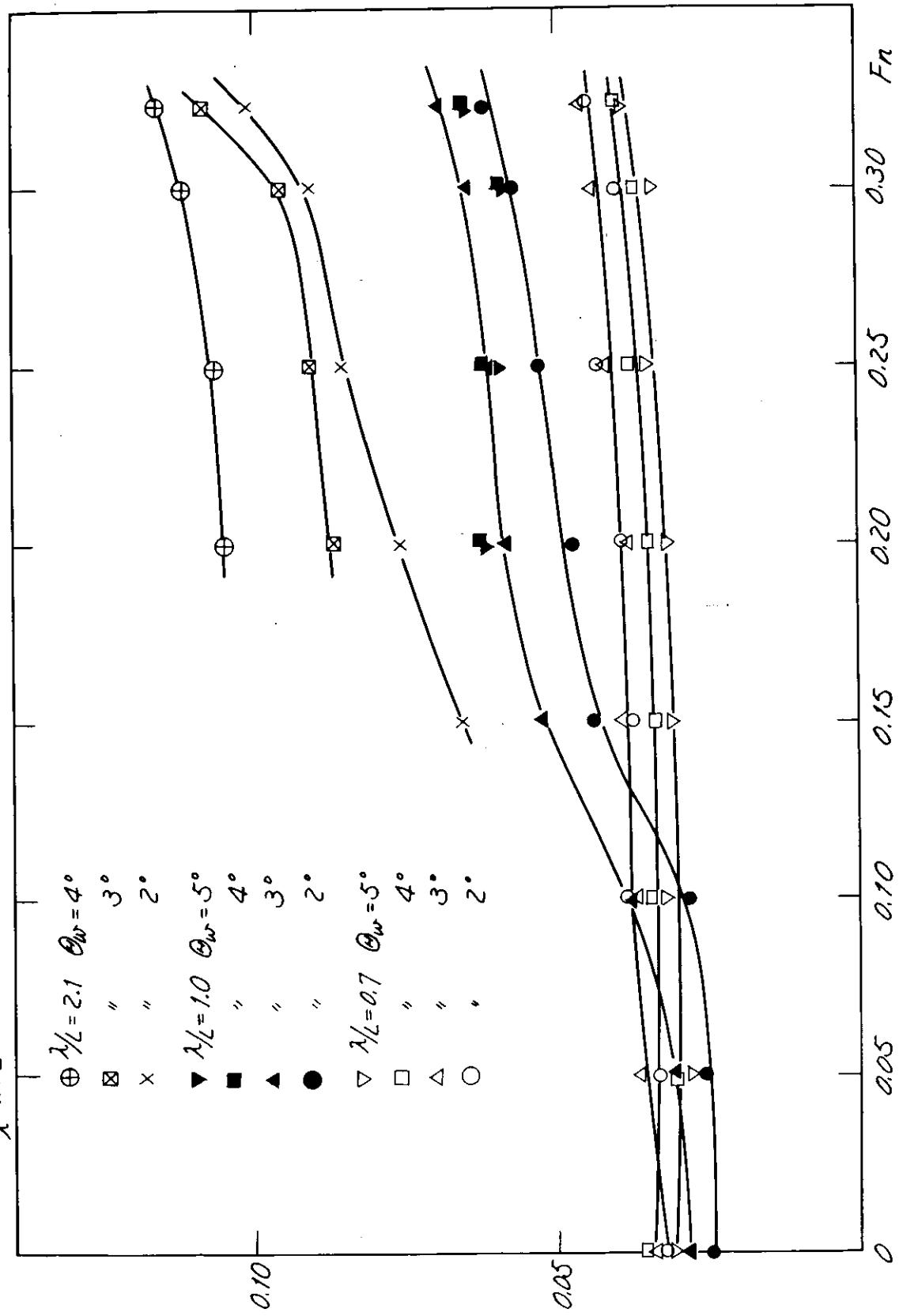


Fig. 2.2.9

2.3 波浪中で船体表面に働く変動圧力の計測

前年度は高速コンテナ船が就航状態に近い速度 ($F_n = 0.25$, $V_s = 20 \text{ Kts}$) で航走する場合、その表面に働く変動圧を計測し計算値との比較を行なつたが良い一致は得られなかつた。そこで今年度はコンテナ船々型に働く変動圧の特性をさらに詳しく調べるため、種々の状態で実験を行なつた。すなわち 1) 正面規則波中航走時に船体表面に働く変動圧の船速影響 2) 波浪中での拘束模型に働く変動圧 3) 平水中で強制動揺させた場合の変動圧を計測し計算値と比較した。

2.3.1 実験方法

1) 実験に用いた模型船は 1 軸コンテナ船の長さ 3 m、木製でその要目を Table 2.3.1 に示す。なおプロペラおよびビルジキールは取付けていない。

2) 変動圧の計測は次の 3 種類の実験法により行なつた。すなわち、

○実験 I 正面規則波中を運動しながら航走する場合の変動圧の測定

模型船は重錘により推力を与え、縦搖、上下搖および前後搖を自由にした。また実験状態は Table 2.3.2 に示す。

○実験 II 拘束模型による波浪変動圧の測定

○実験 III 平水中で強制動揺させた場合の変動圧の測定 強制動揺装置はミナーシヤモータ駆動によるものでその仕様および概略図を Table 2.3.3, Fig 2.3.1 に示す。

実験 II, III では変動圧の応答関数およびその船速影響を求めた。

3) 圧力変換器の取付位置は Fig 2.3.2 に示すようにルイス断面と対応するようにした。すなわち、各断面の Bottom, Bilge, Side と称する位置はそれぞれルイス断面の $\theta = 0^\circ, 50^\circ, 80^\circ$ に対応している。

4) 使用した圧力変換器は豊田工機の PMS 型半導体圧力変換器である。

2.3.2 計算方法

正面規則波中を航走する船体に働く変動圧は田才¹⁾ の方法を一般化した文献²⁾ の方法で計算した。今、船体運動を

$$\begin{aligned} \text{上下搖} & \quad \zeta = \zeta_0 \cos(\omega_e t + \epsilon_\zeta) \\ \text{縦搖} & \quad \phi = \phi_0 \cos(\omega_e t + \epsilon_\phi) \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

とすると全変動圧は次の各成分から成るものと考える。すなわち、

1) 上下搖に基づく圧力 : P_ζ

$$\begin{aligned} P_\zeta &= \rho g h_0 [G_\zeta \cos \omega_e t - H_\zeta \sin \omega_e t] \\ &= P_\zeta^0 \cos(\omega_e t + \nu_\zeta) \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

$$\begin{aligned} G_\zeta \\ H_\zeta \end{aligned} = -\bar{\zeta}_0 \left[(1 + P_{aw}^H) \begin{Bmatrix} \cos \epsilon_\zeta \\ \sin \epsilon_\zeta \end{Bmatrix} + P_{aw}^H \begin{Bmatrix} \sin \epsilon_\zeta \\ -\cos \epsilon_\zeta \end{Bmatrix} \right] \quad (2.3.3)$$

2) 縦搖に基づく圧力 : P_ϕ

$$\begin{aligned} P_\phi &= \rho g h_0 [G_\phi \cos \omega_e t - H_\phi \sin \omega_e t] \\ &= P_\phi^0 \cos(\omega_e t + \nu_\phi) \end{aligned} \quad (2.3.4)$$

$$\begin{aligned} G_\phi \\ H_\phi \end{aligned} = -\frac{x - x_0}{L} \frac{2\pi}{\lambda} \phi_0 \left[(1 + P_{aw}^H) \begin{Bmatrix} \cos \epsilon_\phi \\ \sin \epsilon_\phi \end{Bmatrix} + P_{aw}^H \begin{Bmatrix} \sin \epsilon_\phi \\ -\cos \epsilon_\phi \end{Bmatrix} \right] \\ + \frac{W_0 \bar{\phi}_0 2\pi \cdot L}{\omega_1 \lambda} \left[2P_{aw}^H \begin{Bmatrix} \sin \epsilon_\phi \\ -\cos \epsilon_\phi \end{Bmatrix} - P_{aw}^H \begin{Bmatrix} \cos \epsilon_\phi \\ \sin \epsilon_\phi \end{Bmatrix} \right] \quad (2.3.5)$$

3) 規則波に基づく圧力 : P_w

$$P_w = \rho g h_0 [G_w \cos \omega_0 t - H_w \sin \omega_0 t] \\ = P_{w0} \cos (\omega_0 t + \nu_w) \quad (2.3.6)$$

$$\begin{bmatrix} G_w \\ H_w \end{bmatrix} = e^{kz/d} \begin{bmatrix} \cos kx \\ \sin kx \end{bmatrix} + e^{-k\sigma d} \left[\frac{P''_{sw}}{x^2} \begin{bmatrix} \cos kx \\ \sin kx \end{bmatrix} + \frac{P''_{dw}}{x} \begin{bmatrix} \sin kx \\ -\cos kx \end{bmatrix} \right] \quad (2.3.7)$$

したがつて、全変動圧 P は

$$P = P_\zeta + P_\phi + P_w \\ = \rho g h_0 [G \cos \omega_0 t - H \sin \omega_0 t] \\ = P_0 \cos (\omega_0 t + \nu)$$

$$\begin{aligned} G &= G_\zeta + G_\phi + G_w \\ H &= H_\zeta + H_\phi + H_w \end{aligned}$$

より求まる。ここに、 P''_{sw} , P''_{dw} は文献¹⁾に計算式が与えられているように断面形状と $\xi_d = \frac{\omega_0^2}{g} \cdot d$ によつて異なる。

前述の実験 I, II, III に對する変動圧 P_0 , P_{w0} , P_{ζ_0} を計算し実験結果と比較した。

2.3.3 実験および計算結果

1) 計測した変動圧は実験 I, II に對しては波振幅に相当する水頭 $\rho g h_0$ で無次元化してそれぞれ $P_0 / \rho g h_0$, $P_{w0} / \rho g h_0$ で示した。また、実験 III に對しては運動の振幅に相当する水頭 $\rho g \zeta_0$ で無次元化した。

2) 応答関数

$F_n = 0.15, 0.25$ の場合の実験 I, II, III に對する変動圧の無次元値を波長を横軸に表わすと次のとおりである。

		断面位置 計測点	S. S. 2	Midship	S. S. 8
$F_n = 0.15$	Bottom ($\theta = 0^\circ$)	Fig. 2.3. 3	Fig. 2.3. 6	Fig. 2.3. 9	
	Bilge ($\theta = 50^\circ$)	2.3. 4	2.3. 7	2.3. 10	
	Side ($\theta = 80^\circ$)	2.3. 5	2.3. 8	2.3. 11	
$F_n = 0.25$	Bottom ($\theta = 0^\circ$)	Fig. 2.3. 12	Fig. 2.3. 15	Fig. 2.3. 18	
	Bilge ($\theta = 50^\circ$)	2.3. 13	2.3. 16	2.3. 19	
	Side ($\theta = 80^\circ$)	2.3. 14	2.3. 17	2.3. 20	

3) 船速の影響

$A/L = 1.0$ の場合、船速を $F_n = 0$ から 0.25 まで変化させて実験 I, II, III に對する変動圧を調べた。その結果は次のとおりである。

		断面位置 計測点	S. S. 2	Midship	S. S. 8
	Bottom ($\theta = 0^\circ$)	Fig. 2.3. 21	Fig. 2.3. 24	Fig. 2.3. 27	
	Bilge ($\theta = 50^\circ$)	2.3. 22	2.3. 25	2.3. 28	
	Side ($\theta = 80^\circ$)	2.3. 23	2.3. 26	2.3. 29	

4) 船長方向分布

Fig. 2.3.30 は $F_n = 0.25$, $\lambda/L = 1.0$ の場合の Bottom ($\theta = 0^\circ$) における変動圧を船長方向に調べたものである。同様に Fig. 2.3.1, Fig. 2.3.2 はそれぞれ Bilge ($\theta = 50^\circ$), Side ($\theta = 80^\circ$) における変動圧の分布を示している。

2.3.4 考 察

1) 応答関数

- $F_n = 0.15$ の場合は Fig. 2.3.3 ~ Fig. 2.3.11 に示すように各実験状態に対しかなり良い一致が見られる。ただし、実験 I の場合、Midship 断面の Bilge, Side 部で圧力が hollow 又は peak を示す位置が計算値と実験値で若干ずれている。
- $F_n = 0.25$ では、SS 2, $\lambda/L = 1.0$ 付近で実験値は計算値よりかなり低い。

2) 船速影響

- 実験 I に関して

SS 2 では計算による圧力が船速とともに上昇するのにに対し実験値はほとんど平行か又は下がる傾向を示している。 $F_n = 0.25$ の応答関数の中、SS 2 で計算と実験値が大きく違つたのはこのためである。

Midship においては Bilge, Side 部の圧力が $F_n = 0.15$ 付近で小さくなる。この hollow の位置は計算と実験値でずれている。

SS 8 では圧力は船速とともに上昇する。定性的には計算値と実験値は良く合つているといえるが定量的には余り良い一致は見られない。

- 実験 II, III に関してはかなり良い一致を示している。

3) 船長方向分布

- 実験 I に関しては上記と同じ傾向を示している。すなわち Midship より前方の断面における Bottom, Bilge 部の圧力は計算値と実験値がほど良い一致を示している。また、Side の圧力については実験値は計算結果より低いが、定性的には良く合つている。しかるに後部断面においては、実験値はかなり低く、傾向も異つている。

4) 強制動揺に関する実験 III については過渡周波数 1.0 Hz のローパスフィルタを通したが、船底部の圧力に対して高周波成分が消えず解析が困難であつた。この高周波分は強制動揺装置から混入すると思われる所以今後改良を加えたい。また今回は Pure heave に対する変動圧の計測だけであるのでさらに縦揺も考慮に入れた連成運動に対する実験も追加したいと考えている。

2.3.5 参考文献

- 1) 田才福造 : "An approximate calculation of hydrodynamic pressure on the midship section contour of a ship heaving and pitching in regular waves" 九大応力英文報告 Vol. 14, No. 48, 1966
- 2) 日本造船研究協会 : 第 90 研究部会 研究資料 第 68 号
昭和 43 年 3 月

Table 2.3.1 Main particulars of ship model

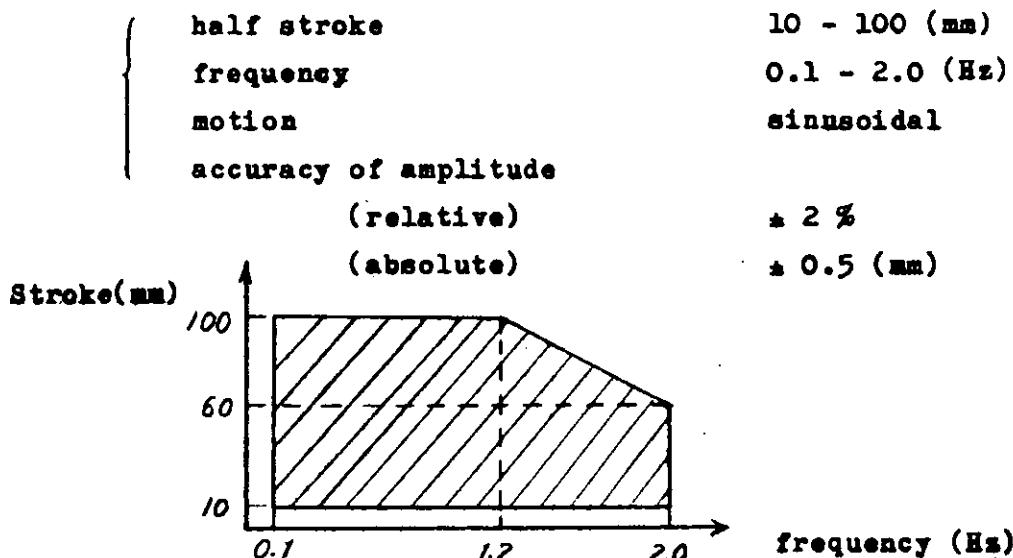
Ship type	Container
Length between perpendiculars	3.0000 m
Breadth	0.4350 m
Draught fore	0.1371 m
aft	0.1543 m
mean	0.1457 m
Volume of displacement	0.1069 m ³
Block coefficient	0.5620
Longitudinal radius gyration	0.2400 L

Table 2.3.2 Test conditions

Item	Pressure gage location	Speed Fn	Wave length λ / L	Wave height $2 h_0 (\text{cm})$
(1) Response operator	S.S 2, 5, 8 $\theta = 0, 50, 80^\circ$	0.15 0.25	0.5 - 2.0	6.0 (L / 50)
(2) Effect of ship speed	S.S 2, 5, 8 $\theta = 0, 50, 80^\circ$	0.0 - 0.25	1.00	6.0
(3) Longitudinal distribution	S.S 2, 5, 8 $\theta = 0, 50, 80^\circ$	0.25	1.00	6.0

Table 2.3-3 Specification of Forced Oscillator

(1) Range of forced oscillation



(2) Motor & machinery

{	motor	JKMM-100ar 3 KW 3000rpm
	power source	3KVA/440V/200V/100V
	ball screw	50φ×32(mm) lead

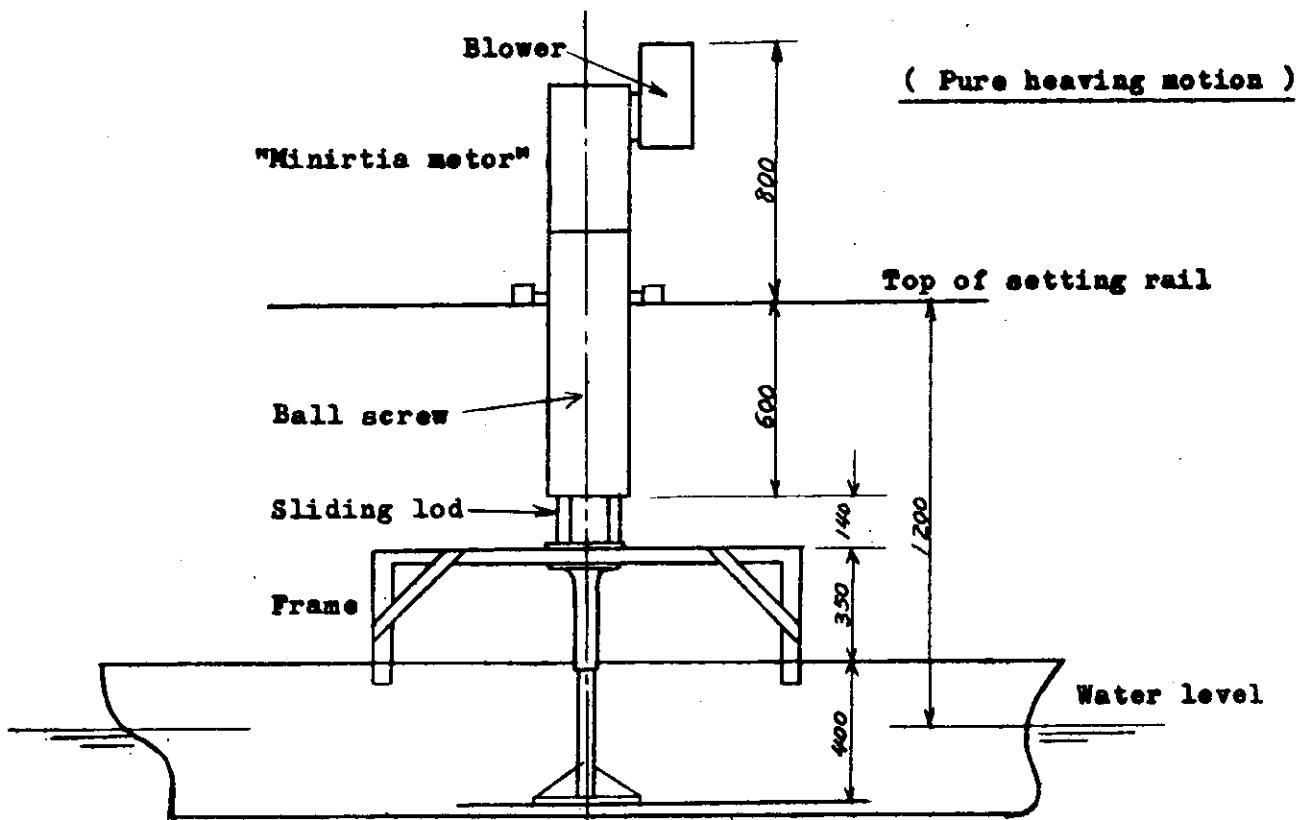
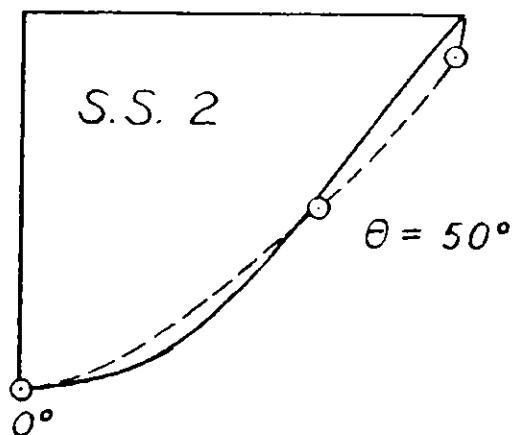
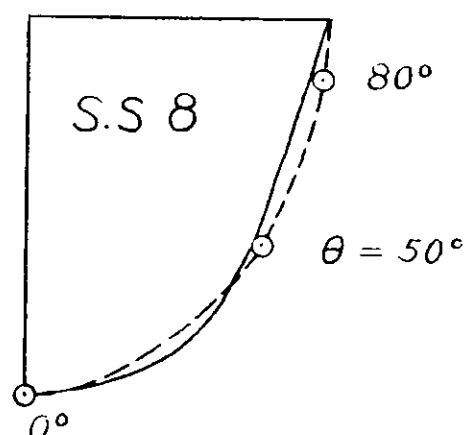


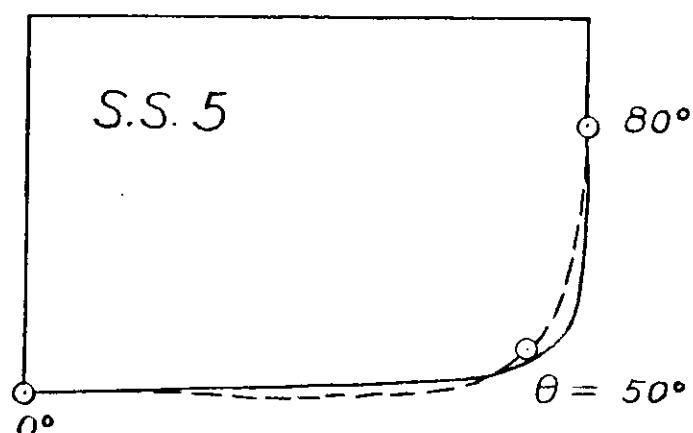
Fig. 2.3-1 Schematic drawing of Forced Oscillator



$H_0 = 1.17, \sigma = 0.651$



$H_0 = 0.795, 0.753$



$H_0 = 1.49, \sigma = 0.962$

actual form —
Lewis form - -○---

Fig. 2.3-2 Sections of model showing pressure gage locations

Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.15$

S.S. 2

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

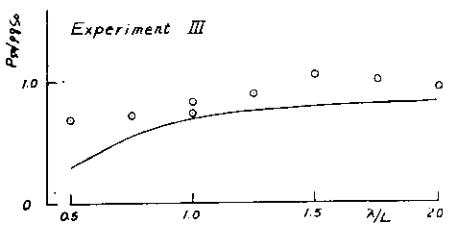
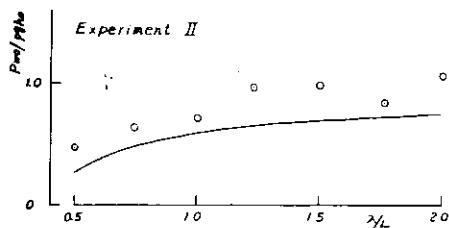
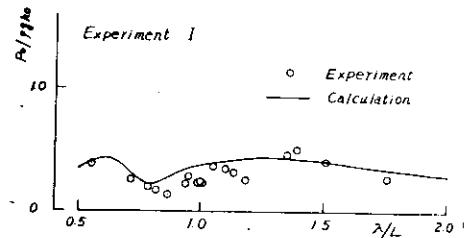


Fig. 23-3

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

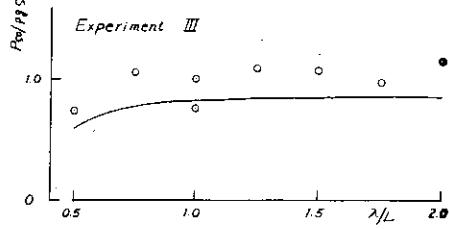
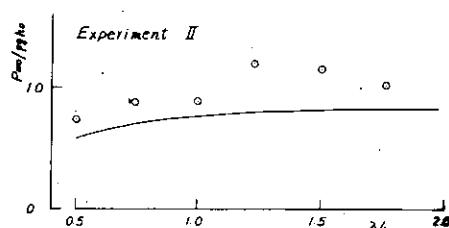
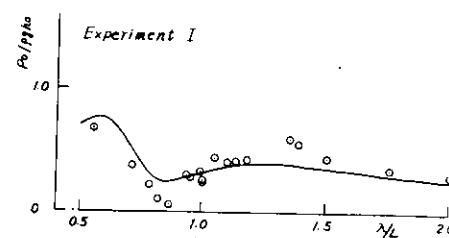


Fig. 23-4

Side ($\theta = 80^\circ$)

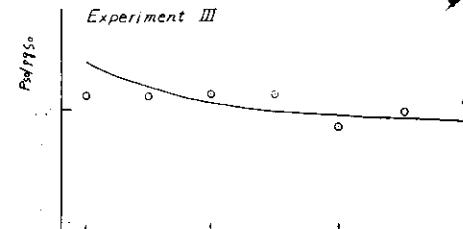
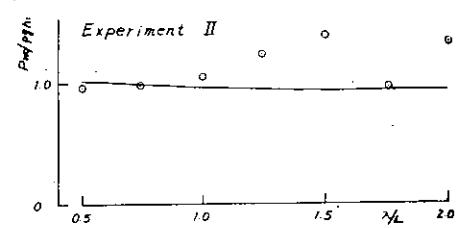
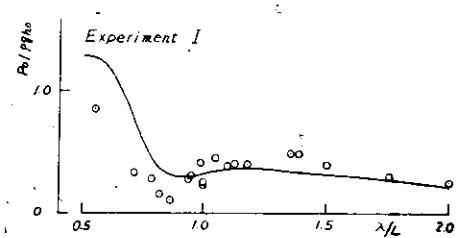


Fig. 23-5

Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.15$

Midship

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

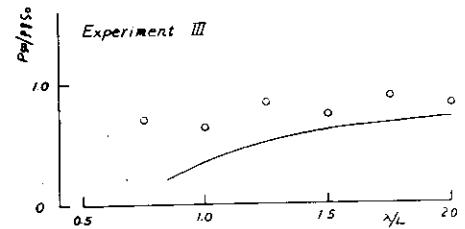
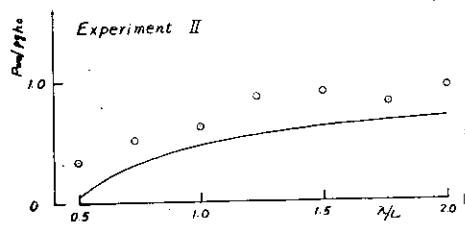
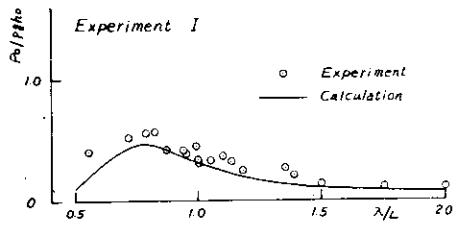


Fig. 23-6

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

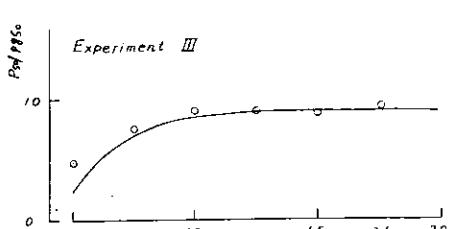
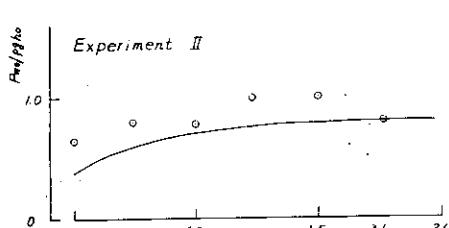
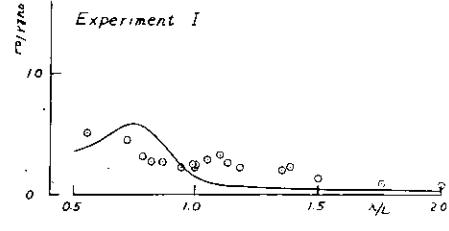


Fig. 23-7

Side ($\theta = 80^\circ$)

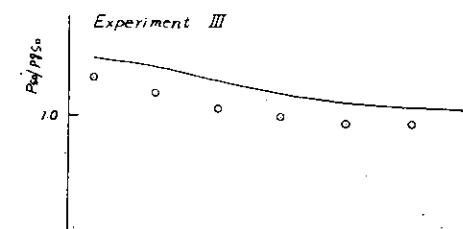
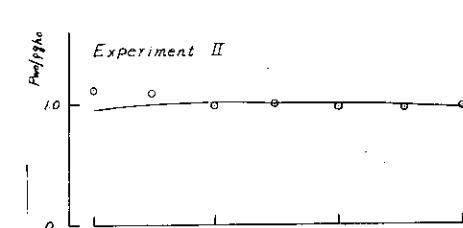
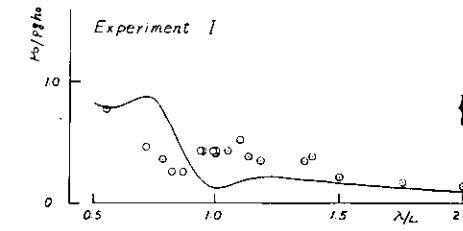


Fig. 23-8

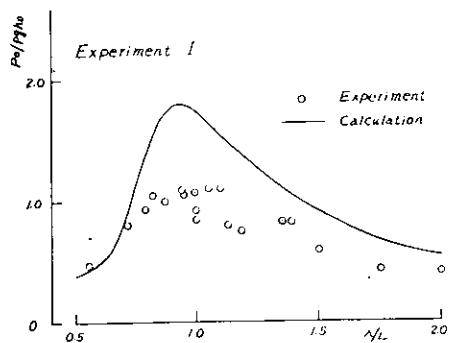
Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.15$

S.S.8

Side ($\theta = 80^\circ$)

Bottom ($\theta = 0^\circ$)



Bilge ($\theta = 50^\circ$)

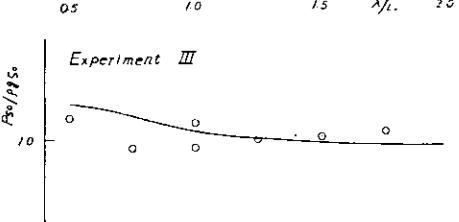
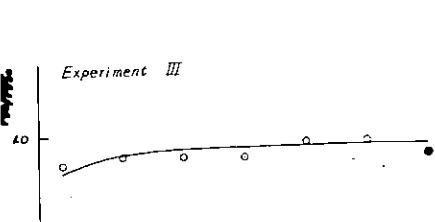
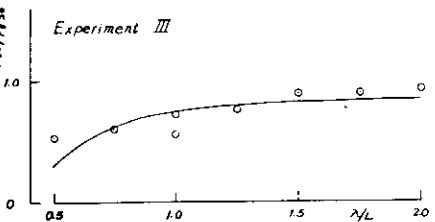
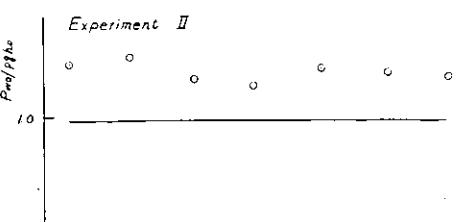
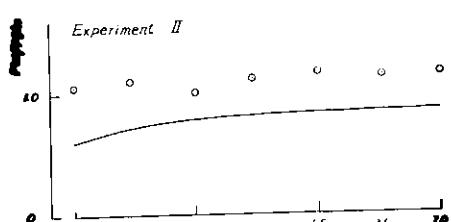
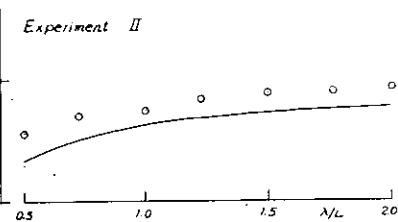
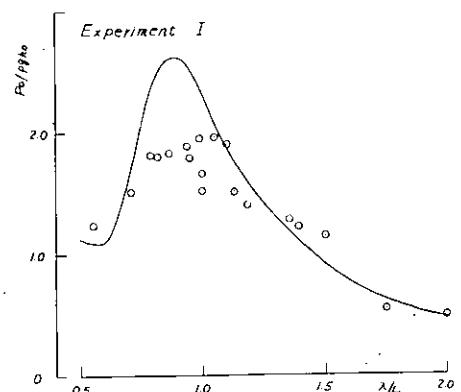
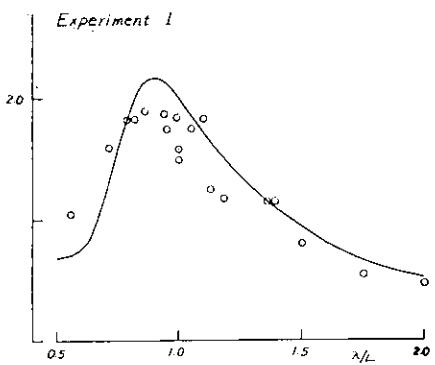


Fig. 2.3-9

Fig. 2.3-10

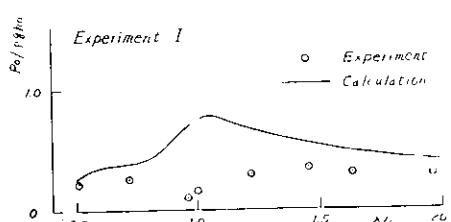
Fig. 2.3-11

Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

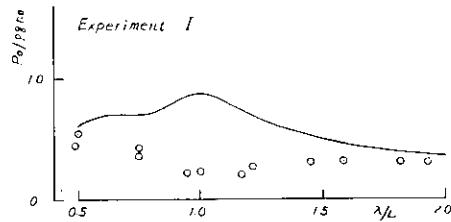
$F_n = 0.25$

S.S.2

Bottom ($\theta = 0^\circ$)



Bilge ($\theta = 50^\circ$)



Side ($\theta = 80^\circ$)

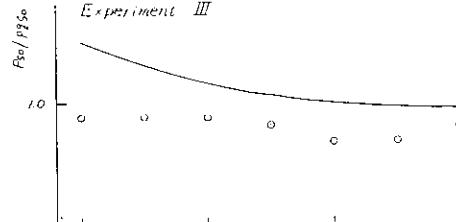
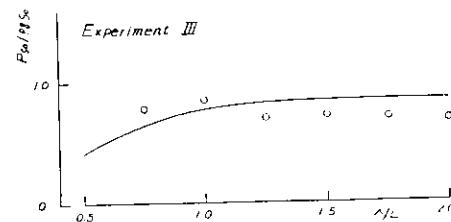
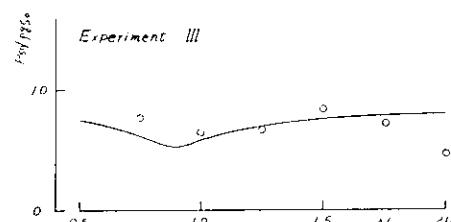
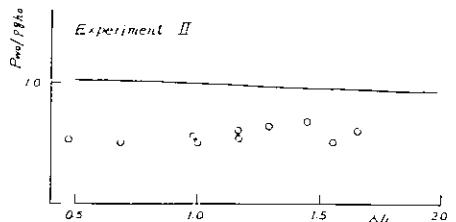
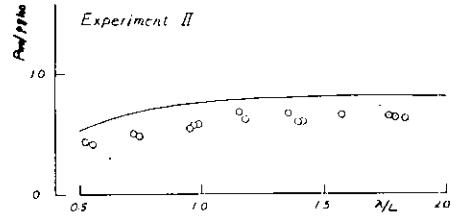
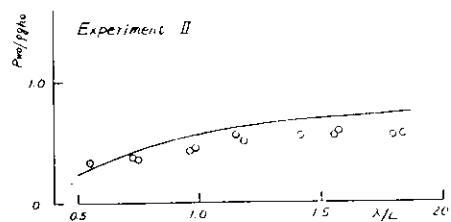
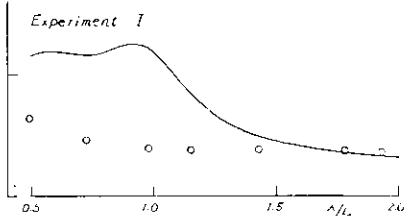


Fig. 2.3-12

Fig. 2.3-13

Fig. 2.3-14

Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.25$

Midship

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

Side ($\theta = 80^\circ$)

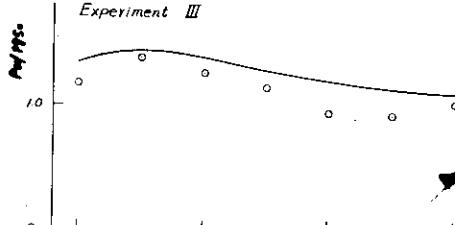
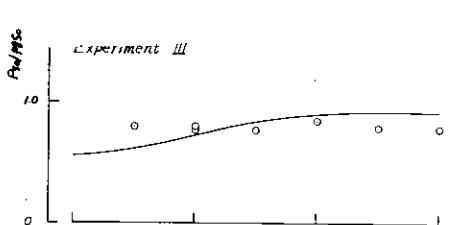
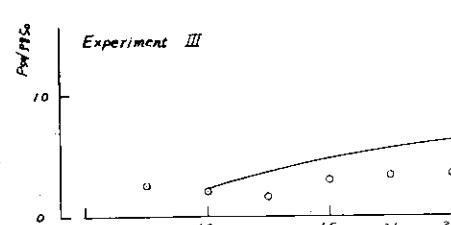
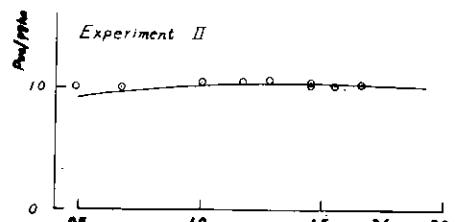
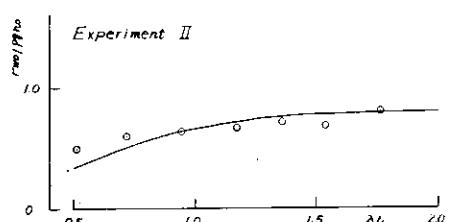
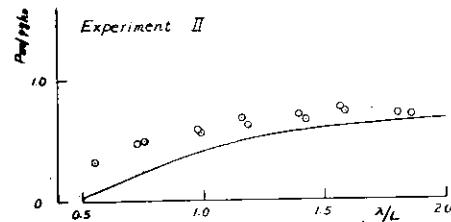
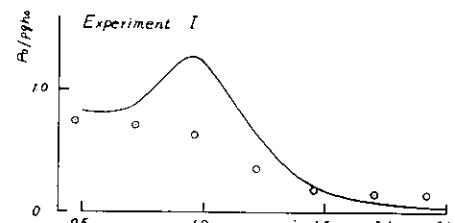
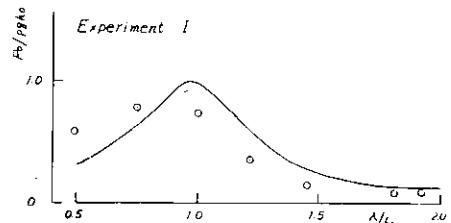
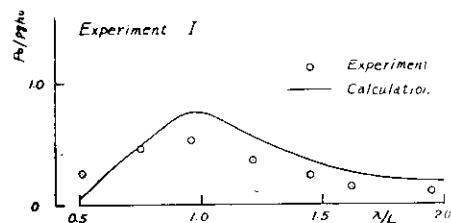


Fig. 2.3-15

Fig. 2.3-16

Fig. 2.3-17

Response Amplitude Operators of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.25$

S.S. 8

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

Side ($\theta = 80^\circ$)

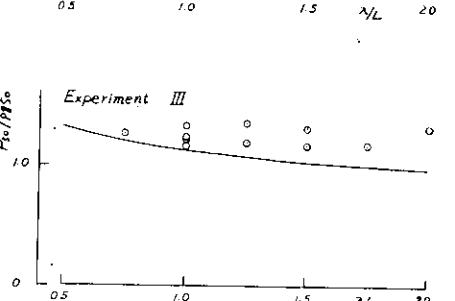
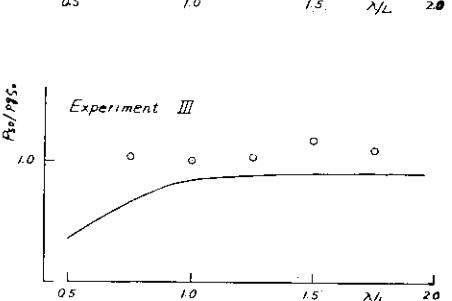
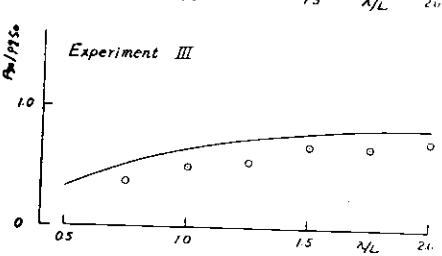
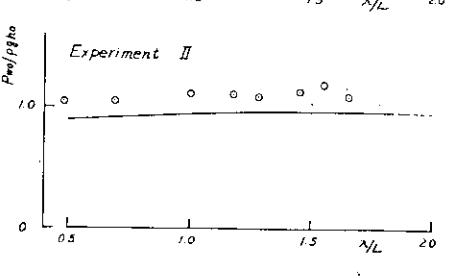
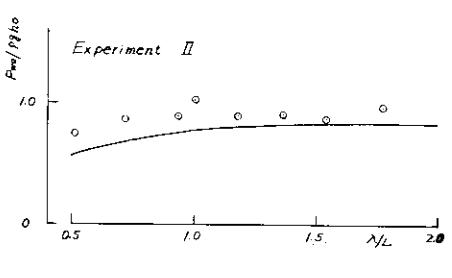
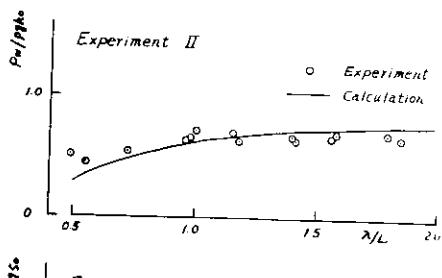
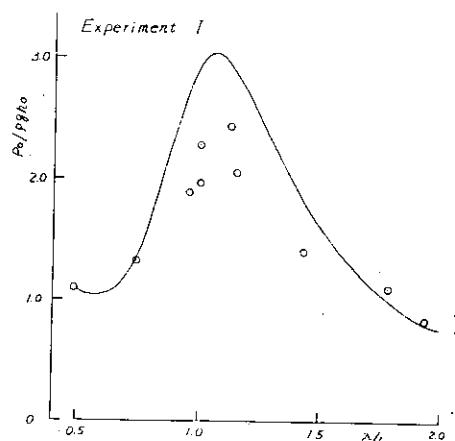
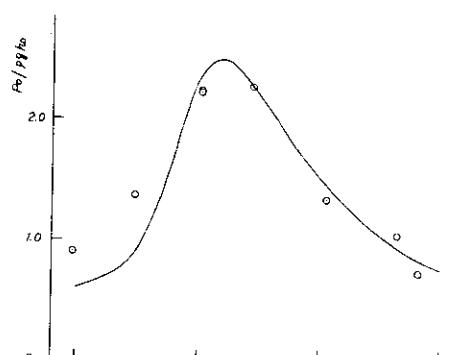
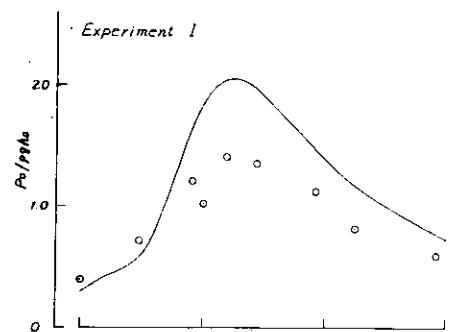


Fig. 2.3-18

Fig. 2.3-19

Fig. 2.3-20

Variation of Amplitude of Hydrodynamic Pressure with Ship Speed

$\lambda/L = 1.0$

S. S. 2

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

Side ($\theta = 80^\circ$)

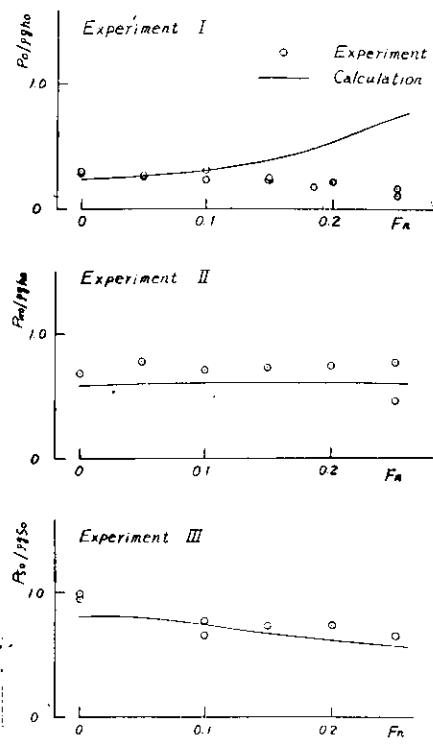


Fig. 2.3-21

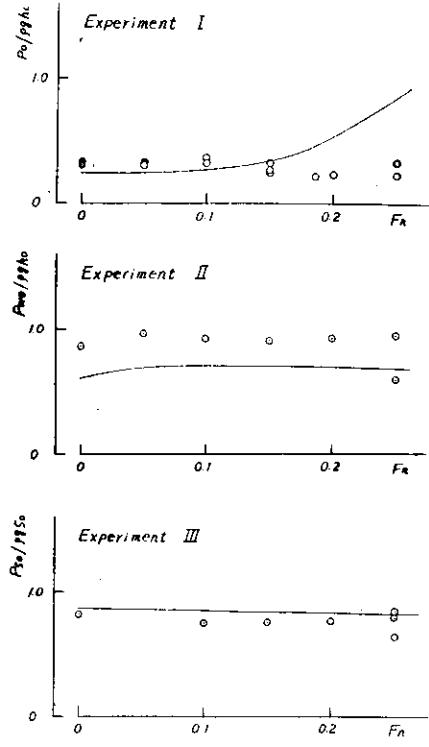


Fig. 2.3-22

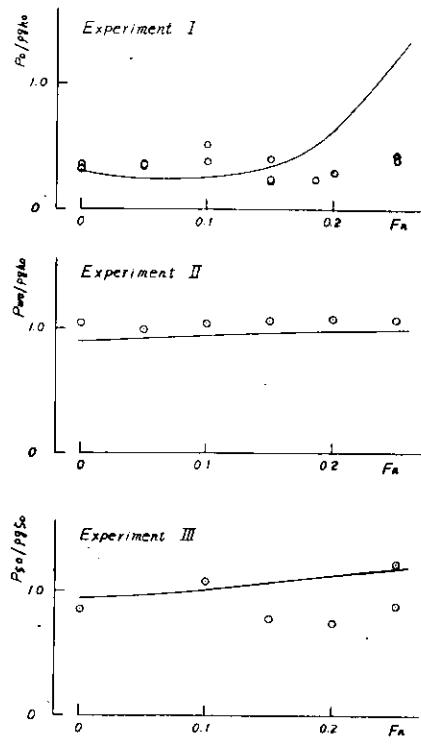


Fig. 2.3-23

Variation of Amplitude of Hydrodynamic Pressure with Ship Speed

$\lambda/L = 1.0$

Midship

Bottom ($\theta = 0^\circ$)

Bilge ($\theta = 50^\circ$)

Side ($\theta = 80^\circ$)

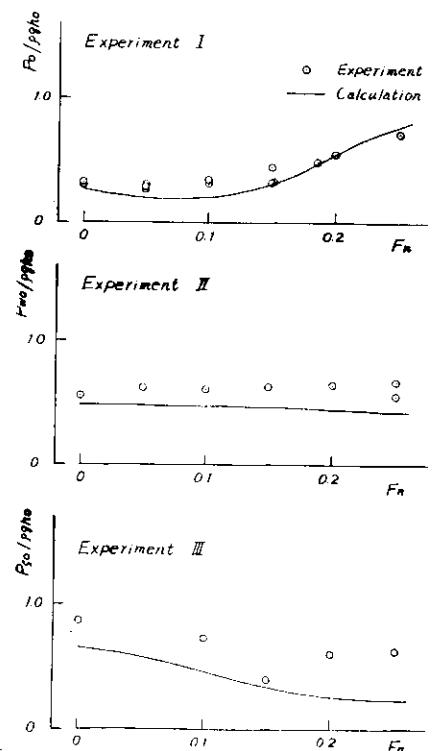


Fig. 2.3-24

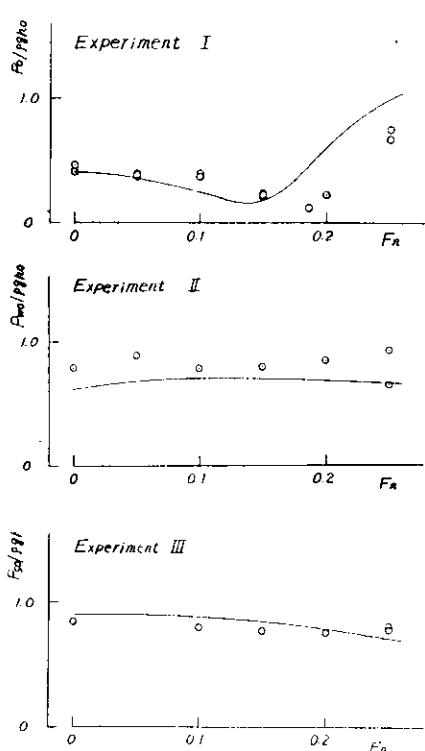


Fig. 2.3-25

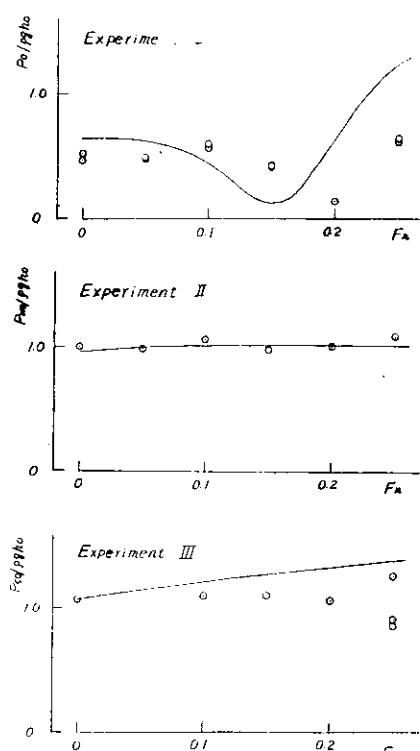


Fig. 2.3-26

Variation of Amplitude of Hydrodynamic Pressure with Ship Speed

$\sqrt{L} = 1.0$

S.S.-8

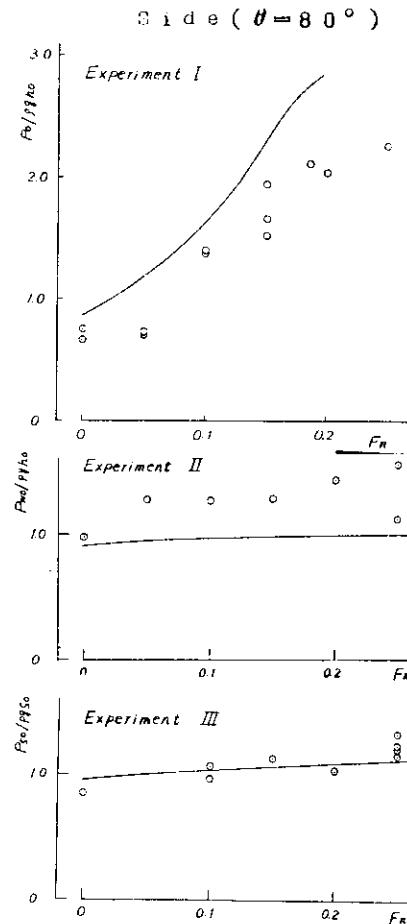
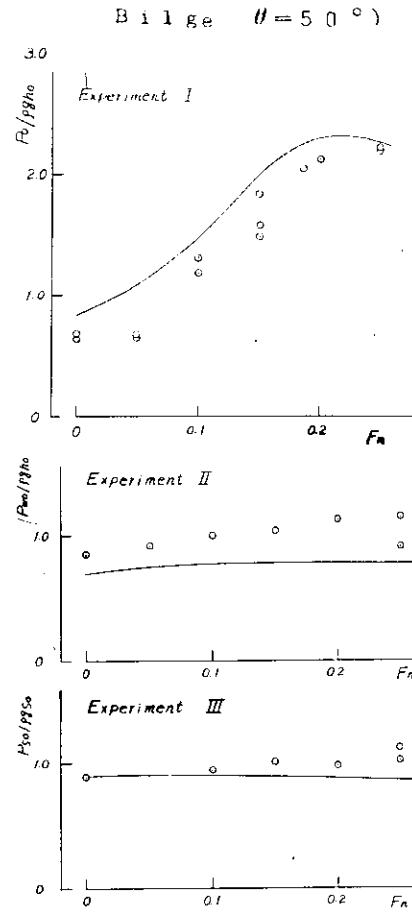
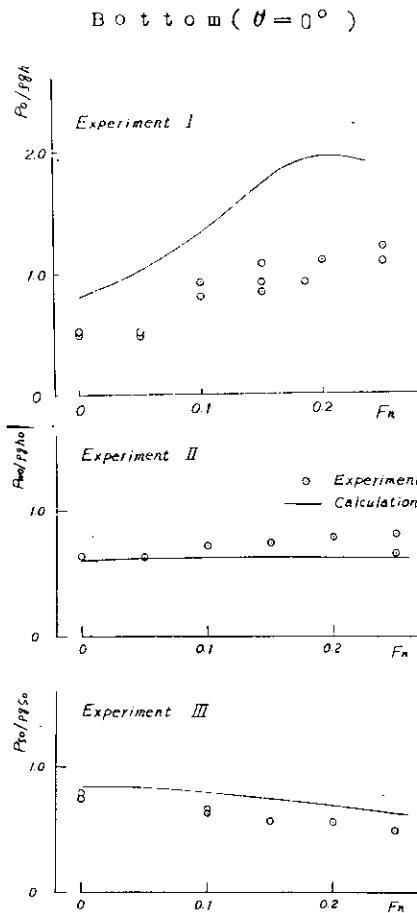


Fig. 2.3-27

Fig. 2.3-28

Fig. 2.3-29

Longitudinal Distribution of Hydrodynamic Pressure

$F_n = 0.25$

$\sqrt{L} = 1.0$

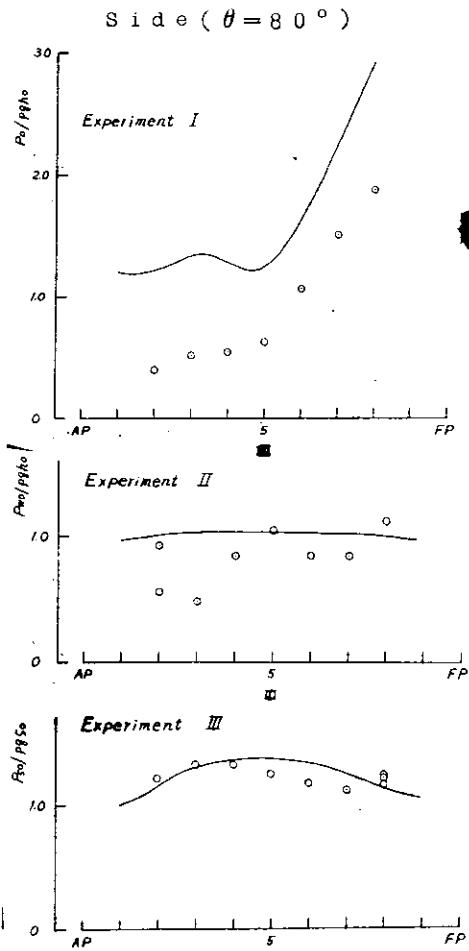
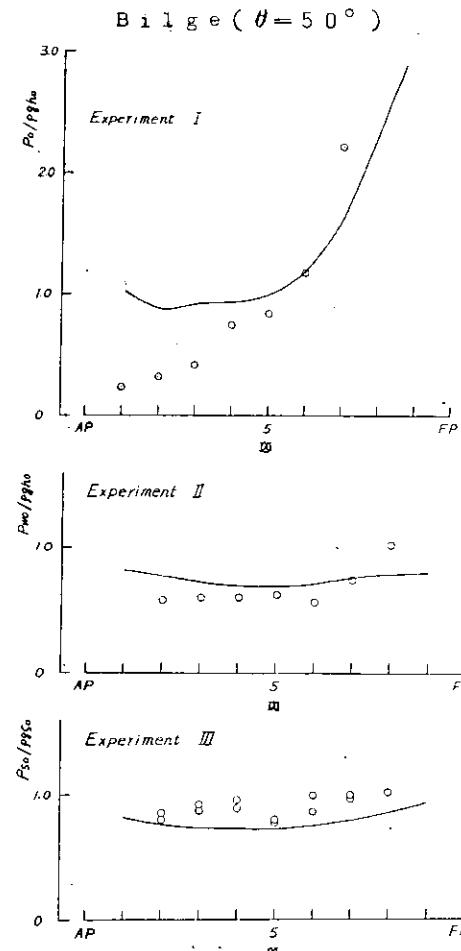
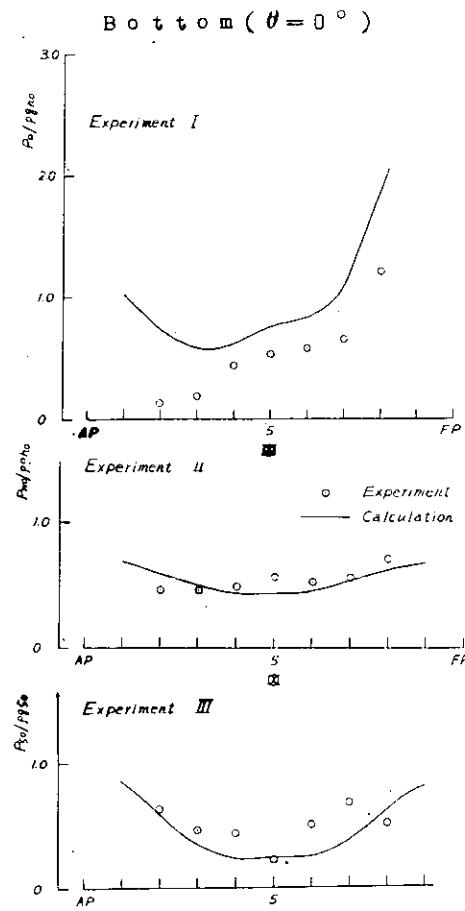


Fig. 2.3-30

Fig. 2.3-31

Fig. 2.3-32

2.4 波浪中における抵抗増加および推進性能

2.4.1 実験の意義

波浪中における船舶の馬力増加あるいは速度低下を求めるには、横型実験あるいは、理論計算によつて得られる抵抗増加や推力増加を基にして推定される。現在のところ、この推定に當つて、波浪中におけるプロペラの単独性能や自航要素の時間的平均値は、大略平水中のそれと變らないとして取扱われている。しかしながら、波浪中における馬力推定の精度向上のためには、波および船体運動による自航要素の変化等について詳しい調査が必要である。¹⁾²⁾

このために、SR-108 1軸コンテナ船型の45m模型を用いて、正面規則波中における抵抗試験および自航試験を実施して、波長、船速の変化に対する抵抗増加、推力増加、あるいは自航要素の変化の様子を調べた。

また、これらの結果を用いて、ある与えられたスペクトラムを有する不規則波中における抵抗増加、推力増加、自航要素の変化を予測するとともに、そのようなスペクトラムを有する正面不規則波中における抵抗試験、自航試験を実施して、抵抗、推力等の平均増加量を求め、さらに、海象の変化に対する自航要素の変化の様子を調べた。

2.4.2 実験の方法

(1) 模型船

模型船は供試船の1/38.9縮尺模型である。実船および模型船の主要目をTable 2.4.1に、またプロペラの要目をTable 2.4.2に示す。

正面波中の実験であるので、模型船は綫環動半径が0.24Lとなるように重量配置した。

(2) 試験の種類および方法

実験は、大阪大学工学部船舶試験水槽で行なつた。実施した試験の種類をTable 2.4.3に示す。

抵抗試験は、平水中、波浪中とも重力式抵抗動力計を使用し、ガイドにより左右搖と船首搖を拘束した。

自航試験は、差動トランス型の自航動力計を用い、すべて模型船の自航点で実施した。波浪中ではプロペラの回転を調節して船速を一定に保ち、プロペラの回転数、推力およびトルクの平均増加量を計測した。

船体運動はすべての実験において計測した。上下搖は船体の重心位置に立てたrodの上下変位、縦搖はrod下端の回転角、前後搖はsub-carriageの水平前後方向変位をそれぞれボテンショメーターで計測した。

(3) 試験状態

規則波中の抵抗試験および自航試験においては、船速は、 $V_u = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$ の4種に限定了。波高は1/50(9cm)の一定波高、波長は、Table 2.4.3に示すごとく $\lambda/L = 0.5 \sim 2.5$ の範囲で種々に変えて実験した。

不規則波中の抵抗試験および自航試験では、規則波中の場合と同様に船速を $V_u = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$ に限り、Table 2.4.4およびFig. 2.4.6に示すようなspectrumを有する不規則波中で実験を行なつた。

2.4.3 実験結果および考察

(1) 規則波中における船体運動

規則波中における抵抗試験および自航試験で計測した船体の振幅の無次元値をFig. 2.4.1に示す。同図にO.S.M.による計算結果および船舶技術研究所で行なわれた実験結果³⁾⁴⁾を比較のために示す。図より明らかなように、試験方法の相違による上下搖、縦搖の振幅の差はほとんど認められない。また船研で行なわれた2つの実験との差もあまり大きくはないが、O.S.M.による計算結果と比較すると、縦搖に関してはあまり差がなく、上下搖に関してはかなりの差がある。前後搖振幅では抵抗試験と自航試験で若干の差が認められる。

(2) 規則波中における抵抗増加、推力増加

規則波中抵抗試験、自航試験の結果得られた抵抗増加、推力増加、トルク増加、および回転数の増加をFig. 2.4.2およびFig. 2.4.4に示す。Fig. 2.4.2より、抵抗増加と推力増加はあまり大きく異なることはなく、

わずかに推力増加の方が大きい。

抵抗増加理論計算^{5) 6)}との比較および船研で行なわれた自航試験結果^{3) 4)}との比較をFig. 2.4.3に示す。ただし、船研の実験結果は推力増加であるため(1-t)として0.8を乗じて抵抗増加に換算してある。図中、Originalとは、丸尾教授の式において、特異点を細長体理論により求める方法⁷⁾、A.M.M.はAmplitude Modify法⁵⁾、D.M.M.とはDepth Modify法⁵⁾、I.S.M.とはIsolated Singularity法(孤立特異点法)⁵⁾を表わす。理論計算による値は、波長の短い範囲では孤立特異点法による値が実験値に近いが、全体としてはどの方法が実験値とよく一致するかは断定できない。また船研長水槽における実験結果⁴⁾とは比較的よく一致しているが、角水槽における自由航走模型実験結果³⁾とはあまり良い一致は見られない。

(3) 規則波中における自航要素および推進効率

規則波中抵抗試験によつて得られる抵抗、および自航試験によつて得られるプロペラ推力、トルク、回転数より規則波中の自航要素および推進効率を求め λ/L に対する変化の様子をFig. 2.4.5に示す。図において、自航要素がかなり変化しているが、これはすでに別の船型(Series 60, $C_B = 0.7$)について調べた結果²⁾と酷似しており、船体運動の自航要素に及ぼす影響が非常に大きいことを表わしている。各自航要素とも波浪が大きくなると($\lambda/L > 2.0$)次第にそれぞれの平水中の値に近づく。また、船速が大きくなるに従つて、波長の変化に対して自航要素の変化が小さくなる。推進効率 η は船体運動の大きい $\lambda/L = 1.0 \sim 1.5$ あたりでかなり低下する。これは、プロペラ効率 η_p および推進器効率比 η_R の低下が、 $\lambda/L = 1.0 \sim 1.5$ で特に著しく、その結果として推進効率 η の低下を招いていることがわかる。

(4) 不規則波の spectrum.

不規則波中のすべての実験に使用した不規則波の spectrum の sequence をTable 2.4.4に、また spectrum の形をFig. 2.4.6に示す。Fig. 2.4.6において、Sequence 6, 7, 8, 9はそれぞれ Beaufort 6, 7, 8, 9⁶⁾を目指したものであるが、造波機の能力により有義波高がかなり低く、また造波特性により $\omega = 0.6 \sim 0.7$ (1/sec)あたりに深い切れ込みが生じている。図中鎖線Exp.は、実験の波を解析して得られた spectrum、また破線(ISSC)は、実験の不規則波の有義波高と平均波周期を有する ISSC 型の波、spectrum である。

(5) 不規則波中の船体運動

Fig. 2.4.7に不規則波中の船体運動の実験値(有義値)を点で示し、規則波中の応答関数(実験値)と、Exp. Spectrum および(ISSC)Spectrum により求めた有義振幅の推定値を曲線で示す。2つの推定値に比較して実験値が高く、また推定値に関しては(ISSC)Spectrum を用いたものが高い。これらは、Exp. spectrum では上述のように spectrum に切れ込みがあり、また高周波数部分をカットして推定計算を行なつたことにより生じた差が含まれているためと考えられる。

(6) 不規則波中の抵抗増加、推力増加等

Fig. 2.4.7に不規則波中の抵抗、自航試験によつて得られる各増加量の平均値を点で示し、船体運動と同様に、Exp. spectrum および(ISSC)Spectrum と規則波中の増加量とより求めた平均増加量の推定値を曲線で示す。推定に際しては、抵抗増加、推力増加、トルク増加、回転数増加とも次式に示す方法によつた。

$$R = 2 \int_0^\infty S(\omega) H(\omega) d\omega \quad (2.4.1)$$

ただし、Rはそれぞれの平均増加量を表わし、S(ω)は波 spectrum, H(ω)は規則波中の増加量を(ζ_w)²で除した応答関数である。

実験点にはバラツキが見られるが、各点は4～5回の実験の平均値を示している。推定値の $C_{exp.}$ は $Exp.$ spectrum を用いて推定した値であり、 C_{issc} は(ISSC) spectrum を用いて推定した値である。いずれの場合も、実験点が一番高く、 $C_{exp.}$ が一番低い。これは、船体運動の場合と同様の理由が考えられる。また、Sibul は抵抗、推力等の増加量を(2.4.1)式の方法で推定すると under estimate となることを指摘しているが⁸⁾、傾向としては Sibul の結果と一致している。

(7) 不規則波中の自航要素

Fig. 2.4.8 に、不規則波中の抵抗、自航試験結果を用いて算出した自航要素 $1-w$ 、 $1-t$ 、 η_R 、 η の、海象(Sequence)の変化に対する変化の様子を示した。各図の左側に、各々の船速における平水中の値を示している。 $1-w$ 、 $1-t$ に関しては不規則波中においても、その平均としての値は平水中の値と大差のないことが明らかである。しかし、 η_R 、 η に関しては海象が厳しくなるといずれも低下する傾向にあり、その低下率は無視できない。従来、不規則波中の馬力推定に際して η_R は、平均としては、平水中と変わらないとして取扱われており⁹⁾ 推定の精度向上の面から、その低下を考慮せねばならないことが判明した。

2.4.4. 結 言

正面規則波中、不規則波中の抵抗試験、自航試験を行ない、その解析結果より次のことがわかつた。

- 1) 波浪中の自航要素は船体運動によつてかなり影響されるので、波浪中の馬力あるいは船速低下の推定に当つて考慮が必要である。特に不規則波中において、自航要素の低下は海象の厳しさが増せば著るしい。
- 2) 抵抗、推力等の増加量を(2.4.1)式の方法で推定すると under estimate になる傾向がある。

参 考 文 献

- 1) 中村彰一： “耐航性に関するシンポジウム”，昭和44年7月
- 2) 中村彰一他： “波浪中の推進性能に関する研究”，関西造船協会誌，第134号 昭和44年12月
- 3) SRI 108研究部会，昭和44年度報告書，研究資料No.110，昭和45年3月
- 4) 田崎亮他：“単螺旋コンテナ一船の波浪中試験”，造船三学会秋季連合大会講演，昭和45年11月
- 5) 高木又男他：“波浪中の抵抗増加の計算に関する一改良”，関西造船協会誌，第141号，昭和46年9月
- 6) SRI 108研究部会，昭和45年度報告書，研究資料No.125，昭和46年3月
- 7) 藤井齊他：“正面規則波中における抵抗増加”，三菱重工技報，Vol.4, No.6 昭和42年11月
- 8) Sibul, O.J.: "Ship resistance in irregular waves", Proc. 12th I.T.T.C., 1969
- 9) 谷口中：“波浪中の推進性能”，造船協会誌，第383号，昭和36年8月

Table 24-1 Principal particulars

	Ship	Model
Length between perpendiculars	175.000	4.500 (m)
Breadth moulded	25.400	0.653 (m)
Draft Fore	8.000	0.2057 (m)
Aft	9.000	0.2314 (m)
Mean	8.500	0.2186 (m)
Trim	1.000	0.0257 (m)
Displacement volume	21,222.00	0.3608 (m³)
Wetted surface area	5,328.00	3.6344 (m)
Block coefficient	0.559	0.559
Prismatic coefficient	0.580	0.580
Waterplane area coefficient	0.686	0.686
Longl. center of buoyancy from midship	3.164	0.0813 (m)
Height of center of gravity above base line	9.390	0.215 0.186 (m)
Longl. radius of gyration	0.24L	0.24L
Natural period of oscillation		
Heave		1.17 (sec)
Pitch		1.20 (sec)

Table 24-2 Particulars of propeller

	Ship	Model
Diameter	6.500	0.1671 (m)
Pitch	6.860	0.1764 (m)
Pitch ratio	1.055	1.055
Expanded area ratio	0.73	0.73
Blade thickness ratio	0.0446	0.0446
Rake angle	5.71	5.71 (deg)
Number of blades	5	5
Direction of turning	Right	Right

Table 24-4 Characteristics of irregular waves

Sequence	$\tilde{H}_{\frac{1}{3}}$ (m)	\tilde{T}_o (sec)
6 (6)	1.45 (3.9)	7.85 (7.6)
7 (7)	1.83 (5.3)	8.73 (8.9)
8 (8)	2.64 (7.1)	9.41 (10.3)
9 (9)	3.35 (9.2)	10.29 (11.7)

() Corresponds to Beaufort scale.

Table 2.4-3 Summary of tests carried out

Kinds of tests		Fn	ζ_w / L	λ / L	Note
In still water	Resistance	0.06 0.35			
	Self-propulsion	0.06 0.35			
In regular waves	Resistance	0.15, 0.20 0.25, 0.30	$1/50$	0.5 — 2.5	
	Self-propulsion	0.15, 0.20 0.25, 0.30	$1/50$	0.5 — 2.5	
In irregular waves	Resistance	0.15, 0.20 0.25, 0.30			see Table 2.4.4.
	Self-propulsion	0.15, 0.20 0.25, 0.30			see Table 2.4.4.

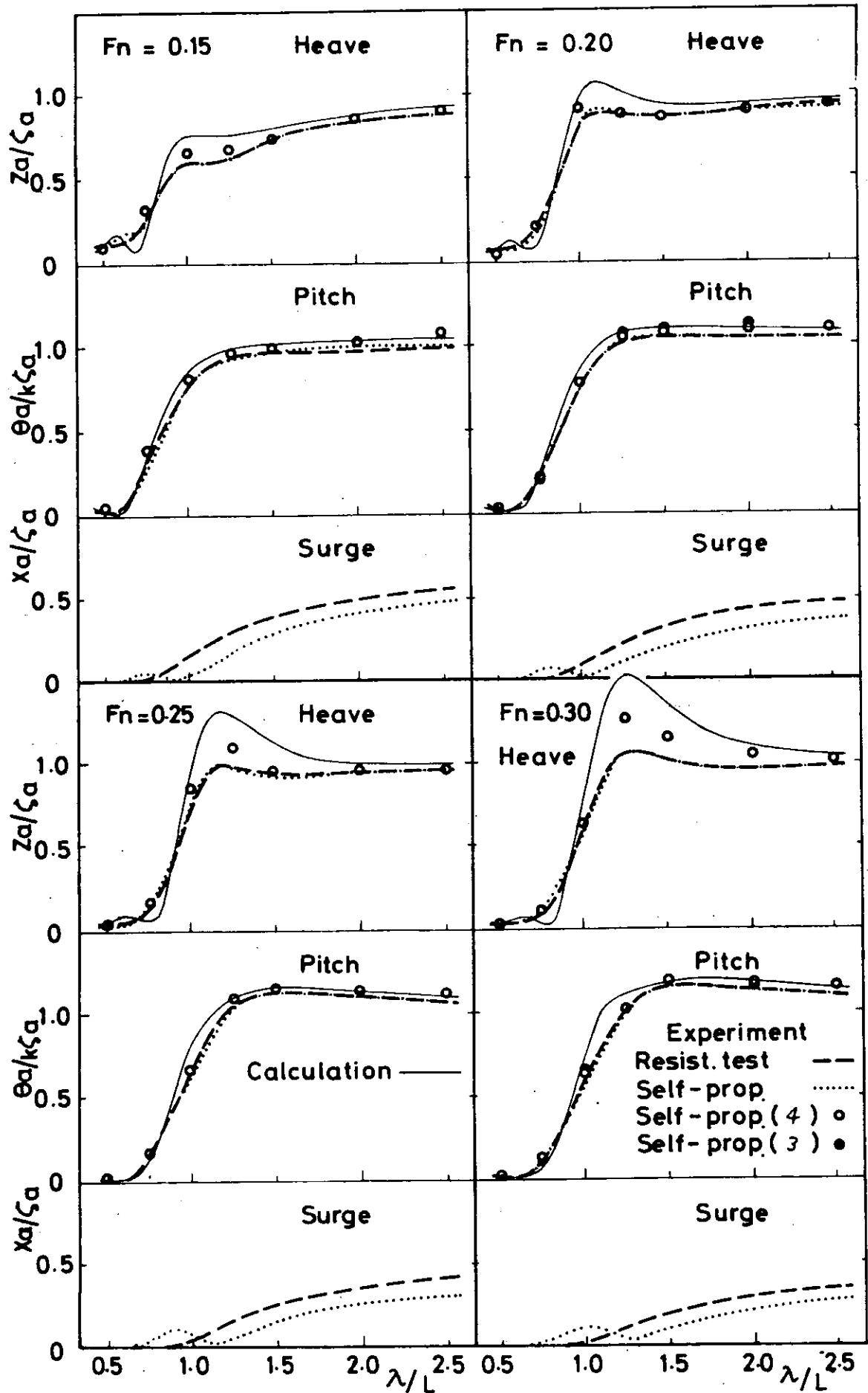


Fig. 2.4-1 Ship motions in regular waves.

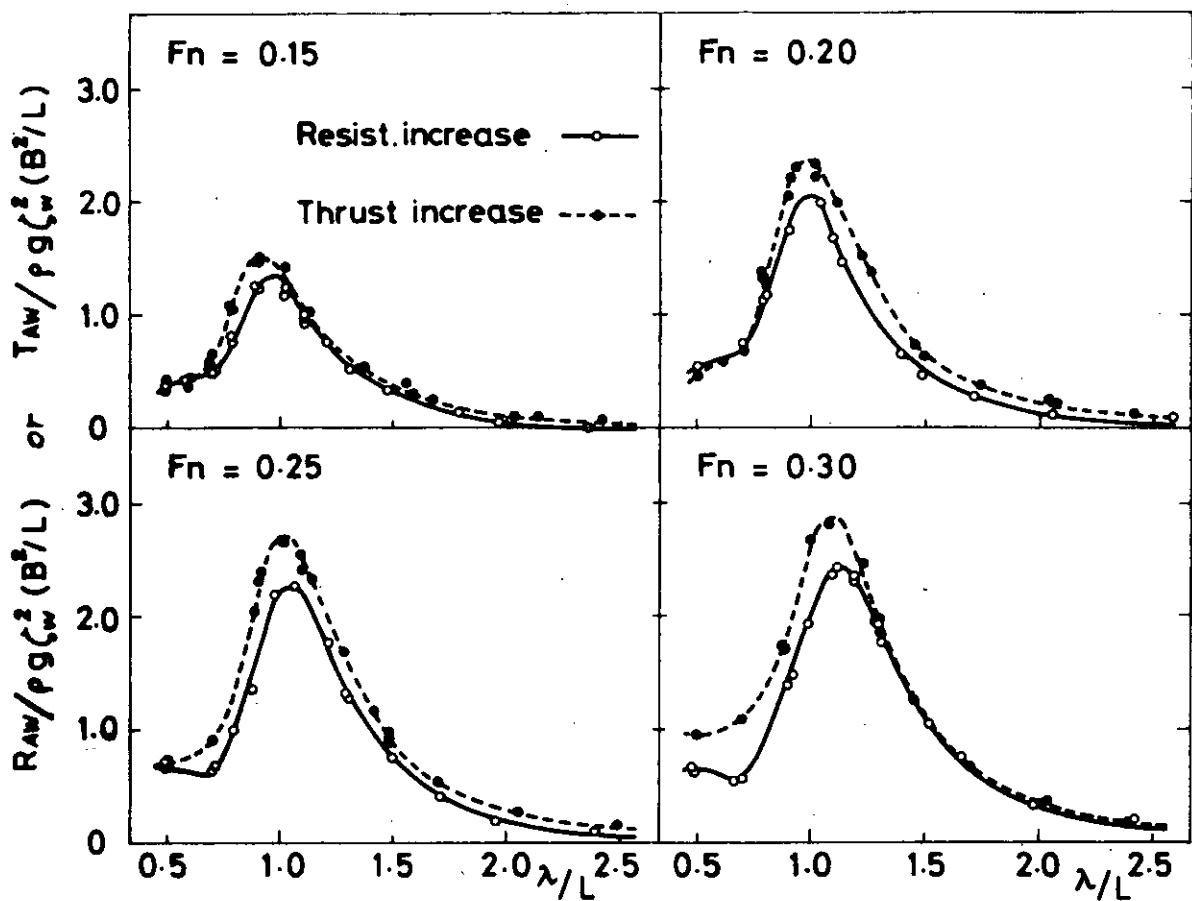


Fig. 24-2 Resistance and thrust increase in regular waves.

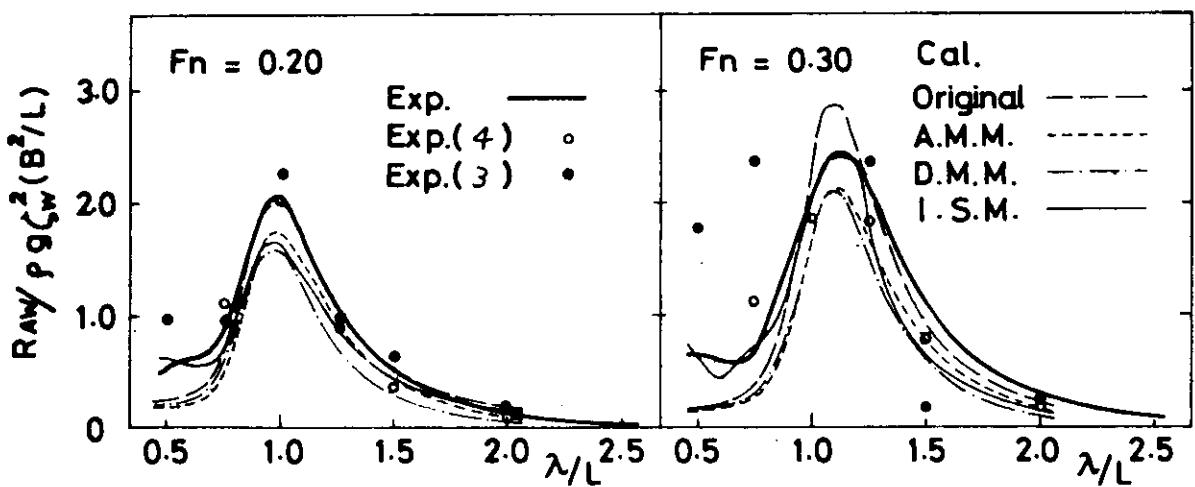


Fig. 24-3 Comparison of resistance increase between experiments and calculations.

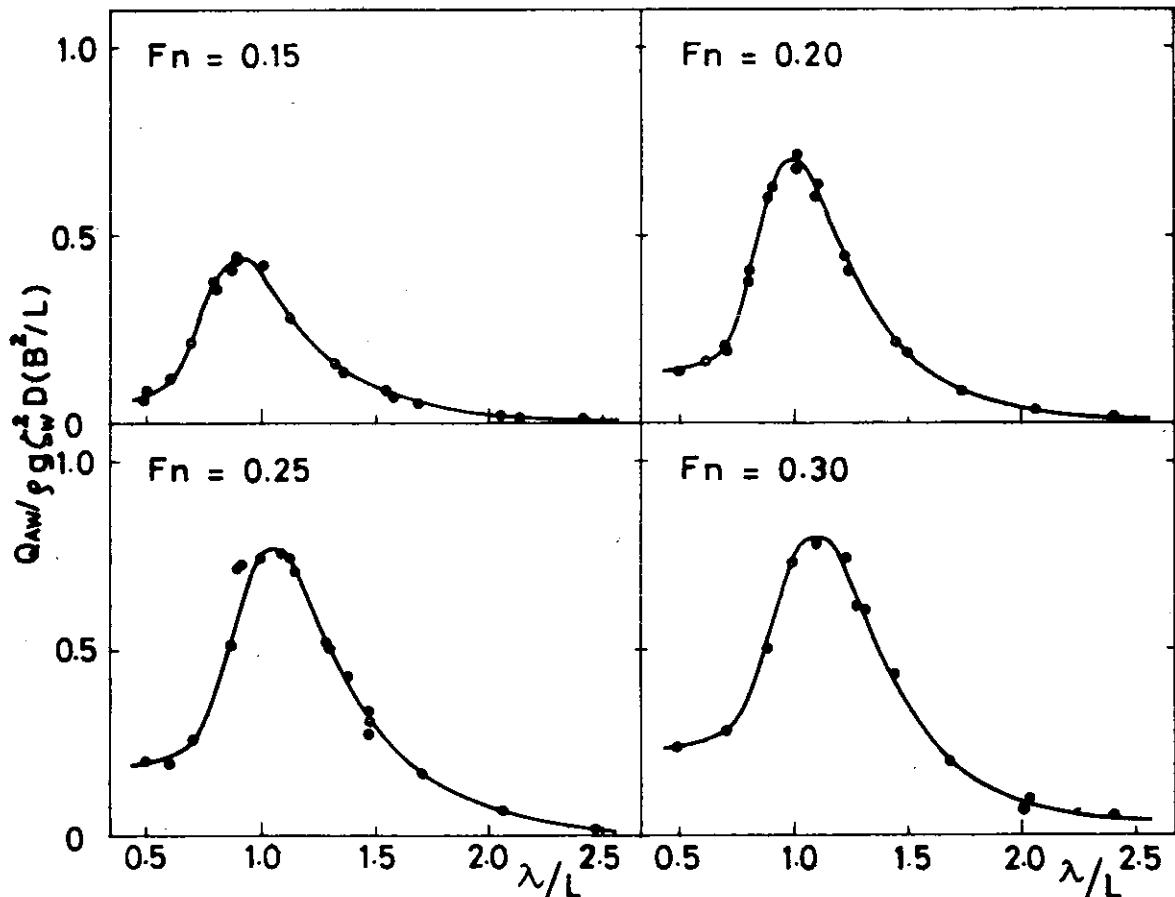
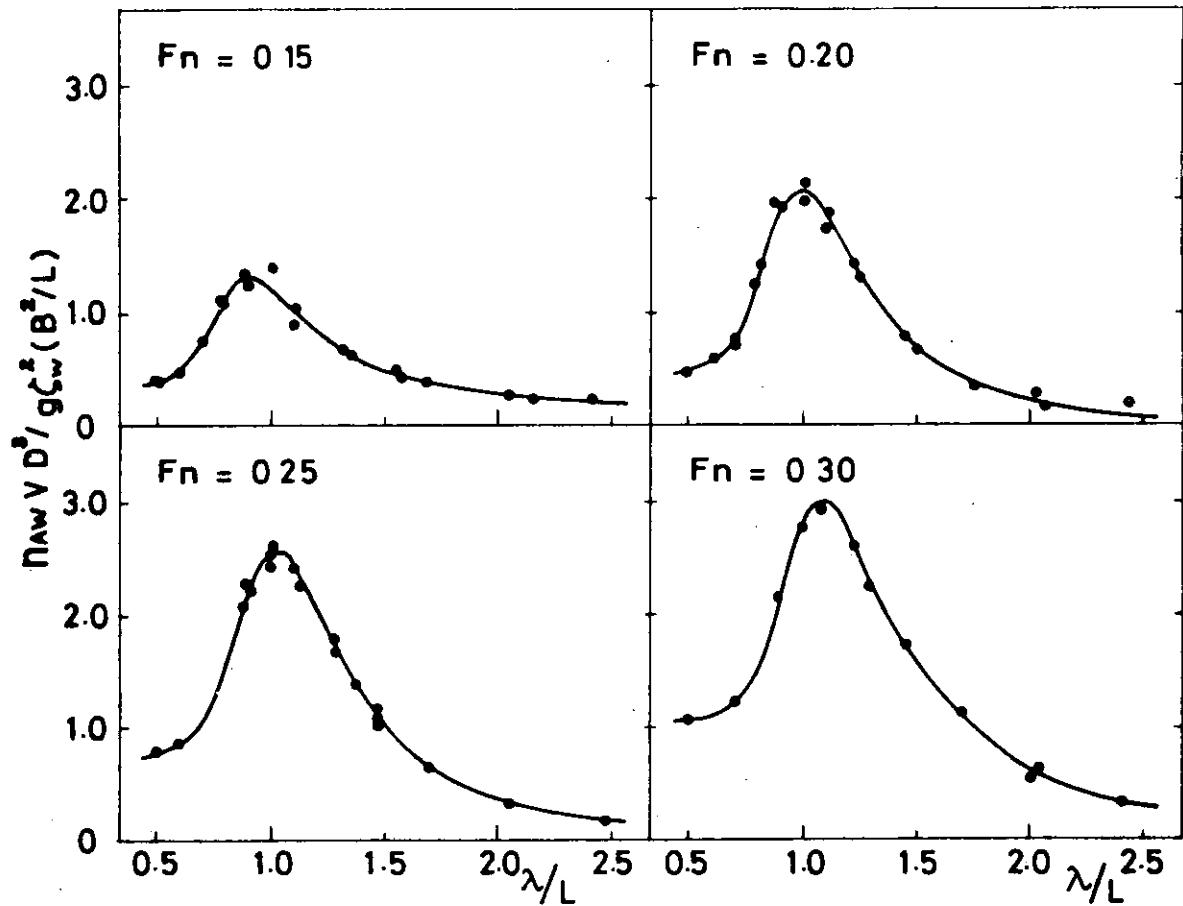


Fig. 24-4 Propeller revolution and torque increase
in regular waves.

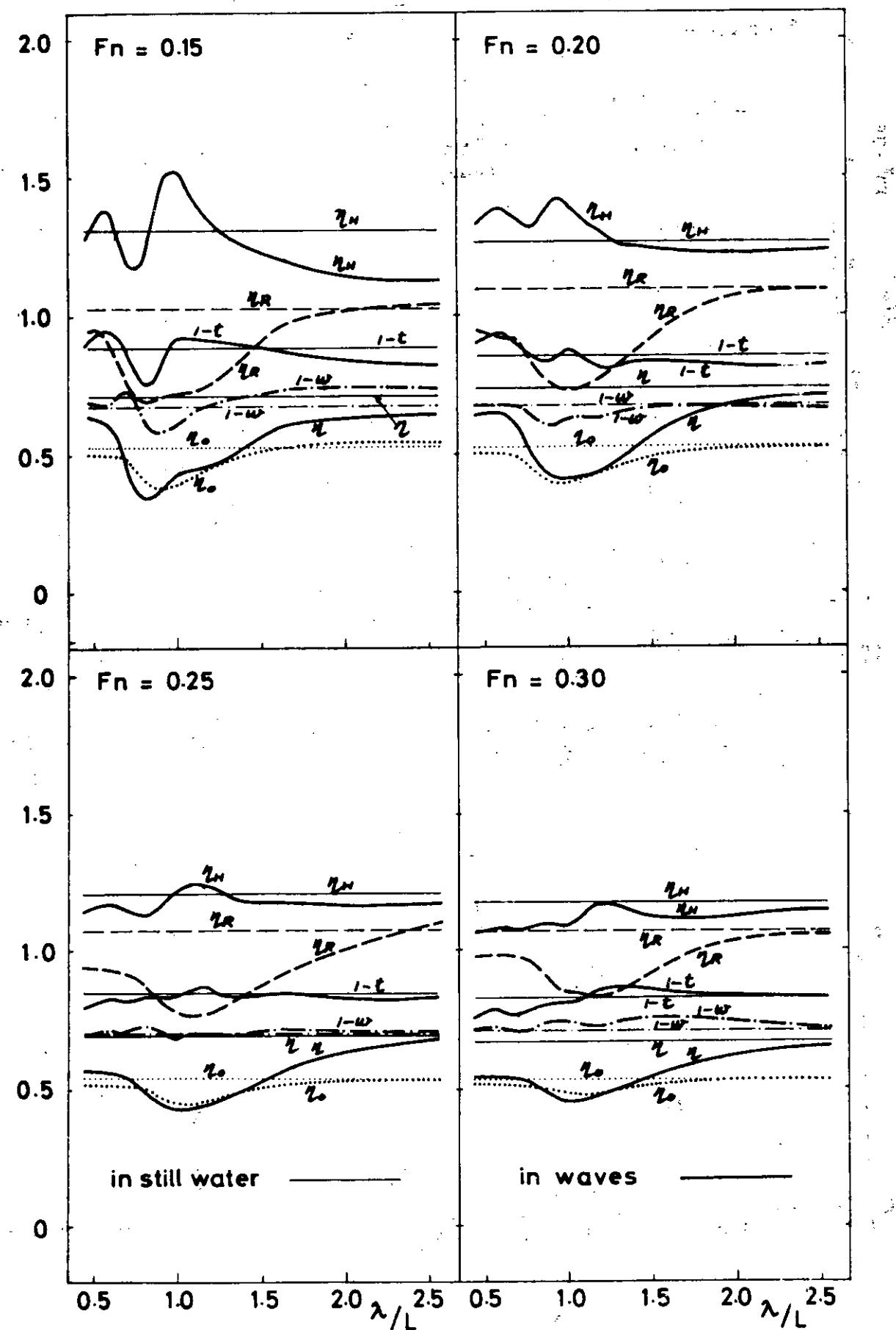


Fig. 2.4-5 Self-propulsion factors in regular waves.

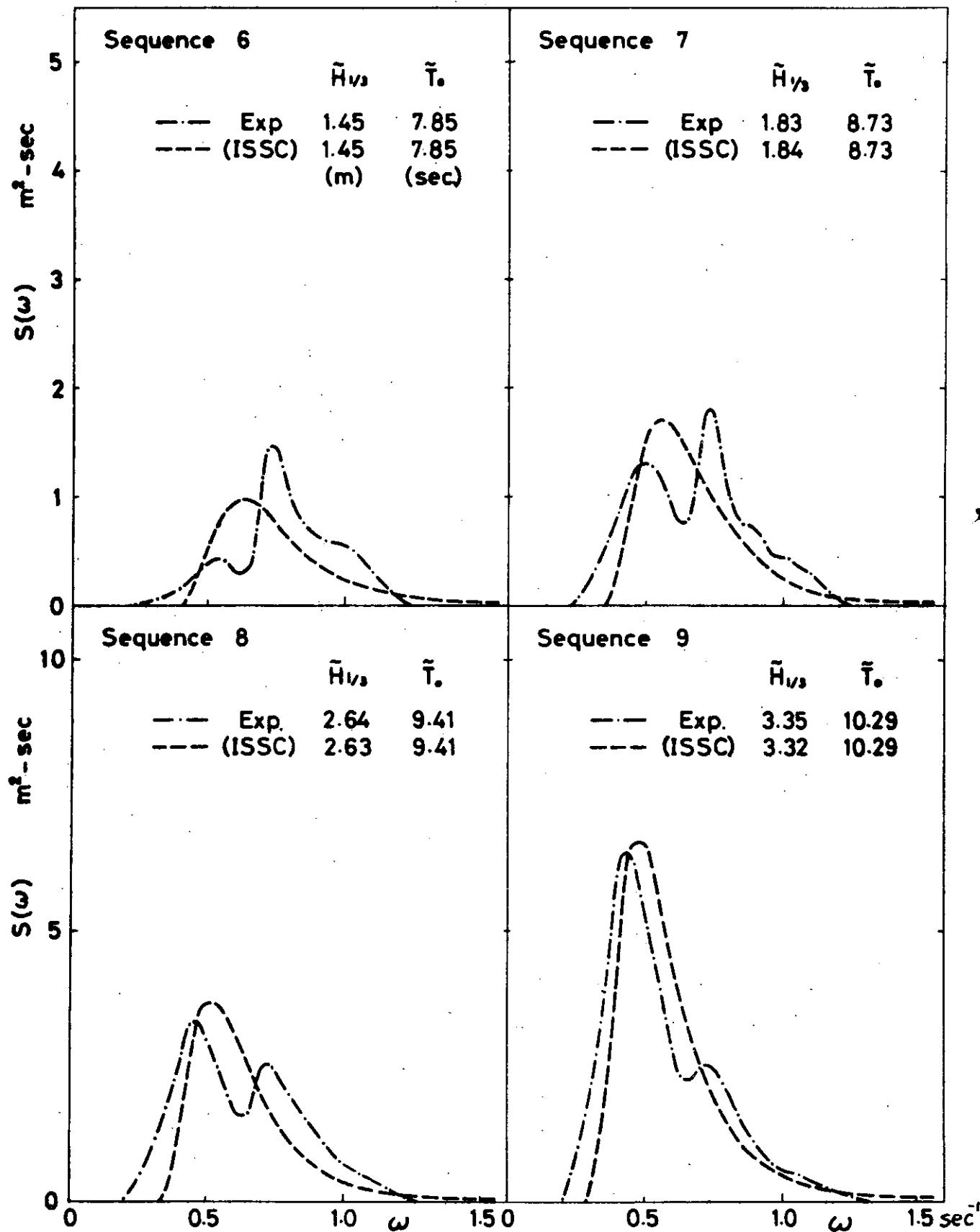


Fig. 2.4-6 Spectra used, in experiments and in estimations.

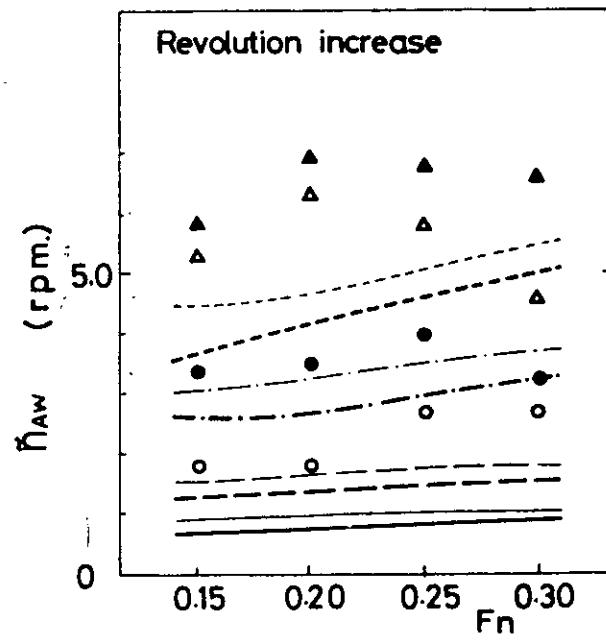
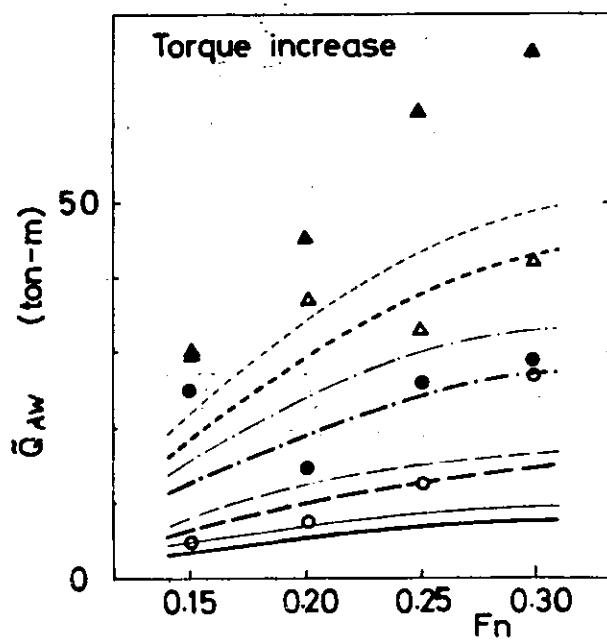
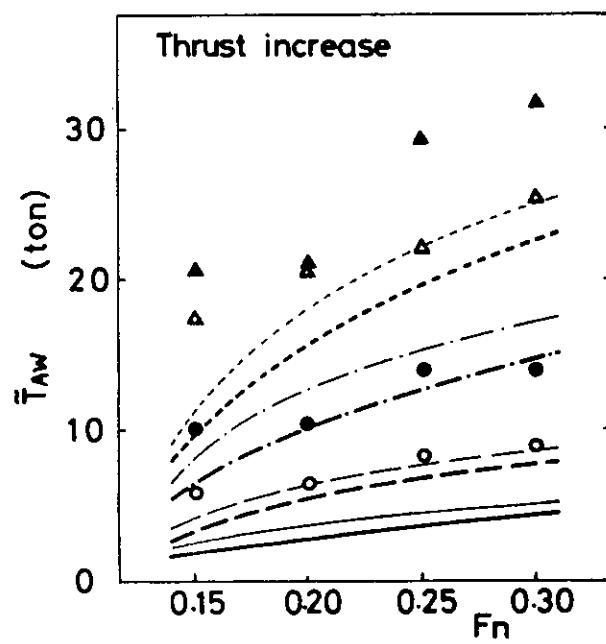
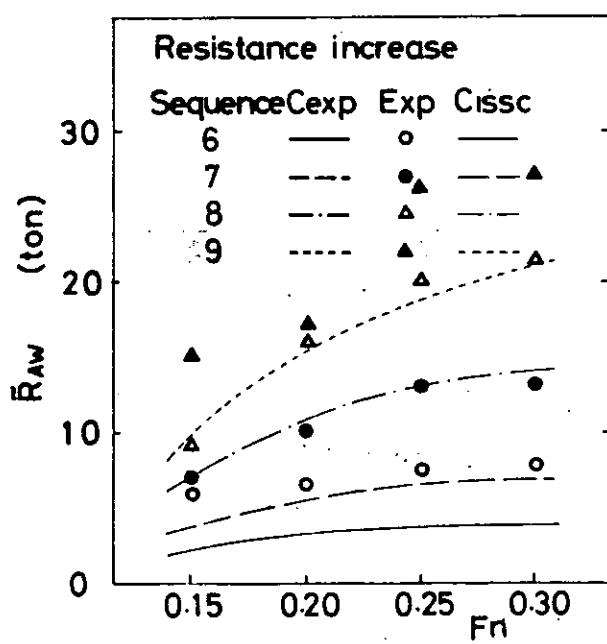
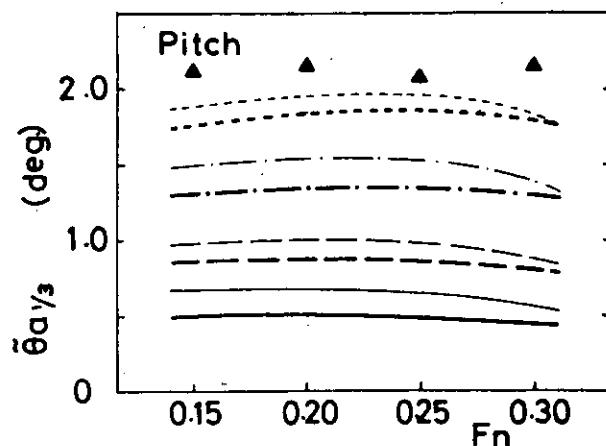
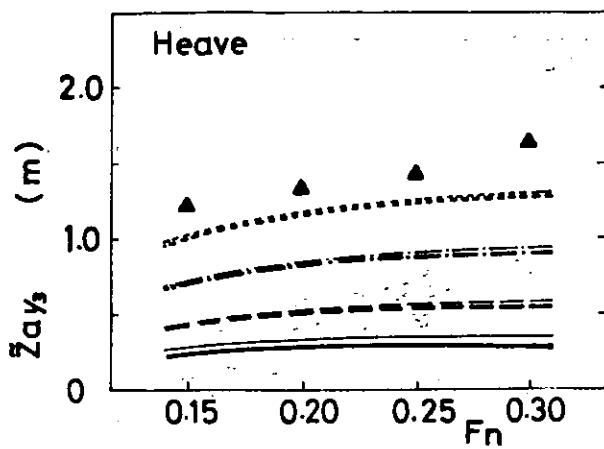


Fig. 2.4-7. Ship motions, resistance increase, thrust increase, torque increase and revolution increase in irregular waves.

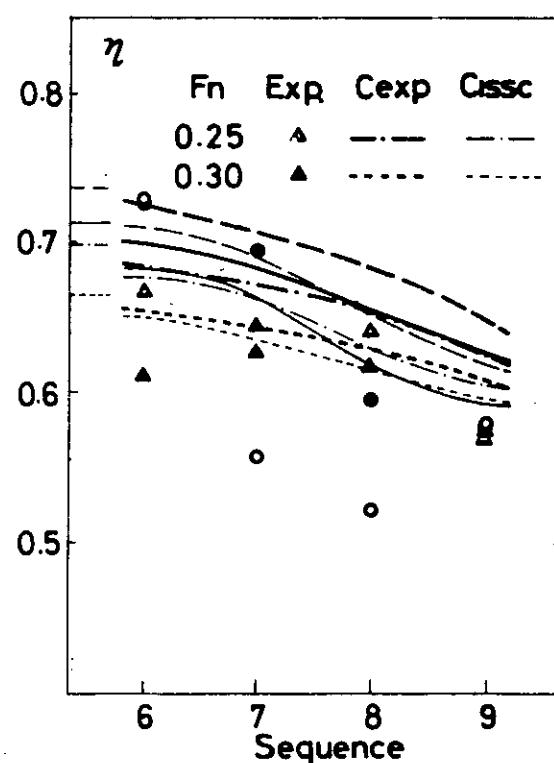
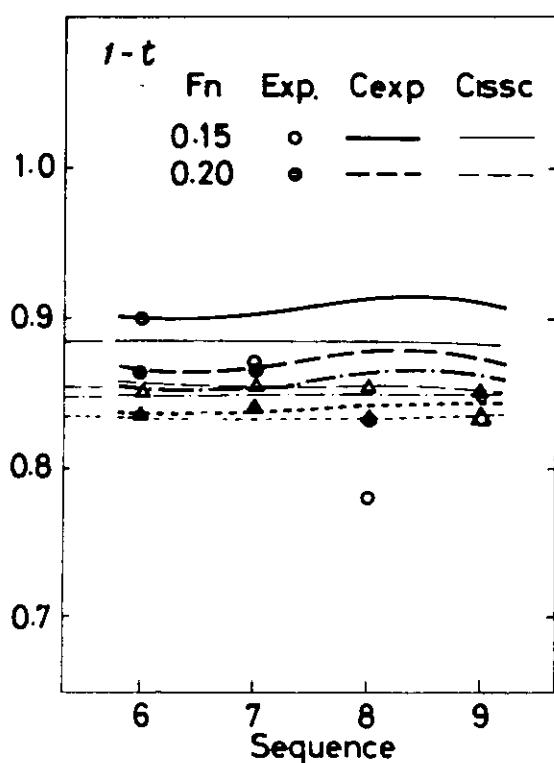
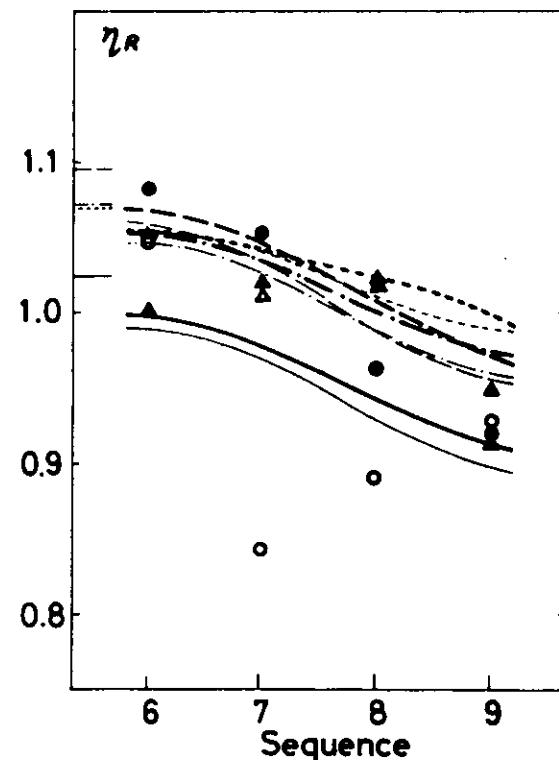
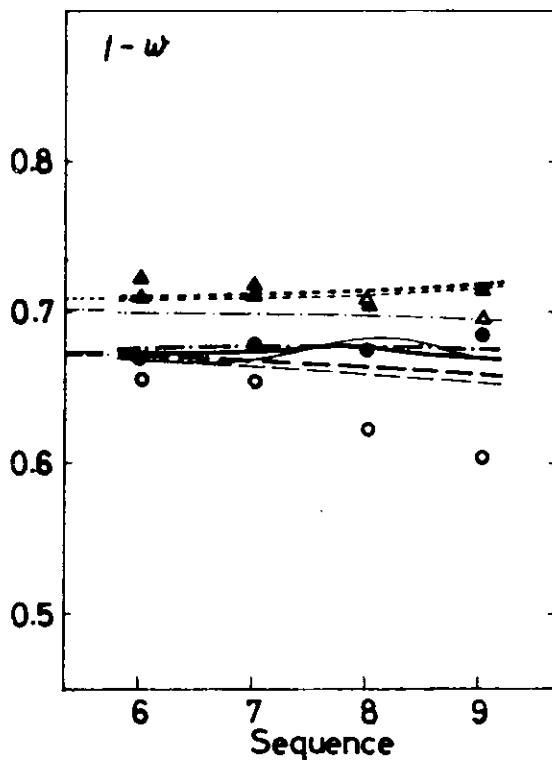


Fig. 2.4-8 Self-propulsion factors in irregular waves.

3. P.S.W. 航路コンテナ船における実船試験の数値解析

3.1 まえがき

横浜国大 竹沢誠二

本章では昭和45年度にSR108部会事業として実施した実船観測、すなわちP.S.W.航路に就航しているコンテナ船に便乗して行なった延9往復航海にも及ぶ実船観測において収録された波浪中船体運動に関する計測記録の解析について述べる。

本試験の概要および体験記は前年度のSR108部会の報告書（研究資料No.125）に既に記載されているので、ここではSR125部会の46年度事業の一部として行なった統計数値解析および、それらから得られた結果についてのみ記す。

まず、統計数値解析の方法、範囲などが実船試験の第2小委員会（実船試験の解析を担当）でたびたび討論された結果、

- (1) スペクトラム解析
- (2) 全振幅の統計計算

に2大別される内容を持つ統一計算方式が決められた。

その方式に基づき、各チームは、独自のプログラム、データ処理装置および電算機を使用して計算を実施した。各チームの数値解析結果は一定の様式に記入し、委員会に提出された。その資料は現象ごとに横割りにされ、各現象ごとに決められた担当者によって検討および考察がなされ、本報告が作成された。なお、統計数値解析の対象となった測定器を使用して計測した項目の一覧表をTable 3.1-1とした。

Table 3.1-1 計測項目一覽表

録記を動変

3.2 実測記録の統計数値解析

横浜国大 竹沢 誠二

3.2.1 概要

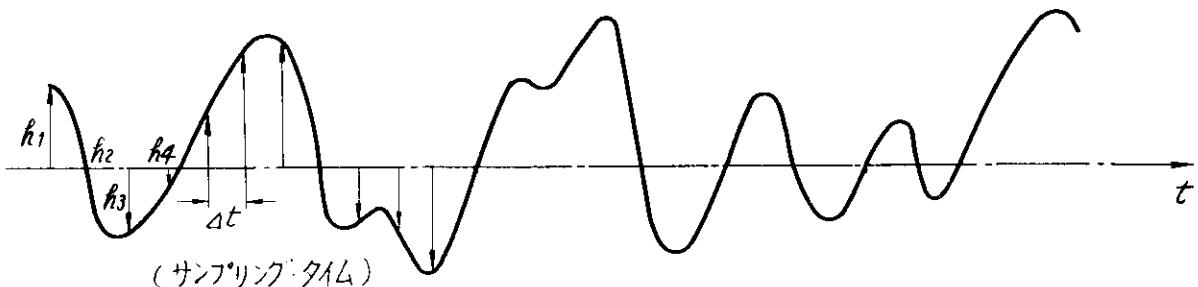
今回の実船試験では各チームとも、実測記録はアナログタイムヒストリーの型で磁気テープ上に収められている。各チームはその記録の統計数値解析をそれぞれのデータ処理装置（A-D変換装置）およびデジタル電子計算機を使用して、各種の統計値算出およびスペクトラム解析を行なった。

各チームの使用した装置はTable 3.2-1に示すように型式、能力がまちまちであり、またプログラムも同じものではない。各チームともほぼ初めての本格的統計数値計算であったため、種々な不測の事態が生じ、計算は遅れ勝ちであったが、Table 3.2-2に示すような整理用総括表にピッチ・ロールに関しては全実験点に対して記入することができた。（なお、Table 3.2-1には各チームの統計数値解析の実務担当者名も記入しておいた。）

Table 3.2-2の型式は本委員会としての計算内容に基づいて作成されたものである。プログラムおよび使用装置は各チーム独自であるので、逆にTable 3.2-2に示す内容までは各チームに算出を義務づけたとも見える。

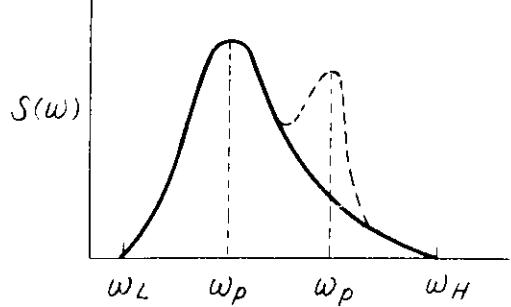
計算はスペクトラム解析と統計解析に大別されるが、以下にTable 3.2-2の記号などの解説を簡単に記す。

3.2.2 スペクトラム解析 (Table 3.2-2の①~②欄)



上図のような不規則タイムヒストリー $h(t)$ をサンプリングタイム Δt ごとに $h_1, h_2, h_3 \dots$ と読み取る。この読み取りに前述のデータ処理装置を使用する。読み取った値は紙テープあるいは磁気テープにデジタルで記録され、デジタル電子計算機への入力となる。今回の計算では現象の周波数範囲を考慮して、サンプリングタイムは 1 sec を標準にした。(一部のチームでは 2 sec になっている。) また、解析する記録の長さは約 20 min としたので、データ数 (No. of Data) は約 1200 となる。また、ラグの数 (No. of Lag) はデータ数の 1% を標準としたので約 120 となる。なお、 $h_1, h_2, h_3 \dots$ なる数列の平均値をゼロ。レベルとして解析が行なわれている。

スペクトラムの計算法およびプログラムの一例は別稿に示されているので、ここでは算出値の定義および内容について簡単に記す。



スペクトラムの面積 $\int_0^\infty S(\omega) \cdot d\omega$ はパワー σ_s^2 の $\frac{1}{2}$ である。

また、パワー σ_s^2 は分散 (Variance) に等しく、 σ_s は標準偏差 (Standard Deviation) である。添字 s は Spectrum から求めた値の意を表わす。

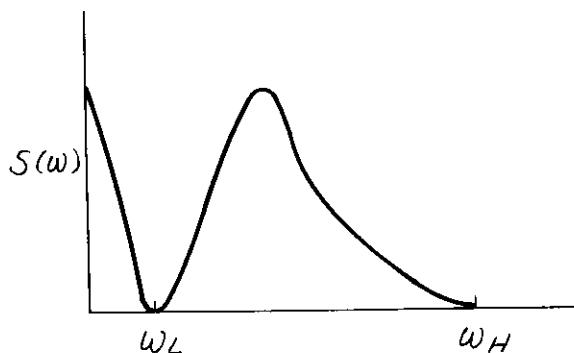
$$\int_0^\infty S(\omega) \cdot d\omega = \frac{\sigma_s^2}{2}$$

$$\therefore \sigma_s = \sqrt{2 \int_0^\infty S(\omega) \cdot d\omega}$$

ところが、上図のようだ、現実のスペクトラムは $\omega_L \sim \omega_H$ の範囲でのみ有意である。

$$\sigma_s = \sqrt{2 \int_{\omega_L}^{\omega_H} S(\omega) \cdot d\omega}$$

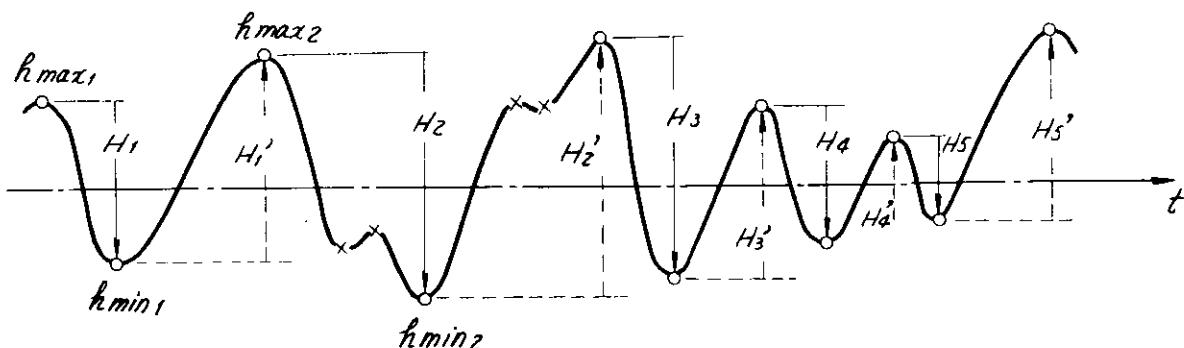
のように算出される。また、 ω_F は上図に示したように $S(\omega)$ が Peak を示す ω の意味で、山が 2 つになるような場合は表には 2 つの値を記入する。



ω_H, ω_L の決定法は各チームによって微妙な差があるが、左図のような場合には図示の位置を ω_L としている。 ω_H は $S(\omega)$ が小になりプラス、マイナスと変動し出す位置附近にとる。

なお、記録はすべて船上での記録であるから、ここで ω は物理的には波との出会い周波数 ω_e に等しい。

3.2.3 全振幅の統計解析 (Table 3.2-2 の①～⑯欄)



上図のような実測タイムヒストリー $h(t)$ があるとき、物理現象としてのゼロ・レベルの位置は明確でない場合が多いので、変動部分についてのみ着目し、 $h(t)$ の平均値をゼロ・レベルとみなすと、極値の数列として $h_{max1}, h_{max2}, \dots$ 、あるいは $h_{min1}, h_{min2}, \dots$ の様な数列が考えられるが、 H_1, H_2, \dots 、あるいは H'_1, H'_2, \dots のような全振幅の数列を考えるとゼロ・レベルの不明確さは表に出て来ないので、全振幅の統計解析を行なうことが多い。今回の計算も統計解析は全振幅 (Double Amp) で行なわれている。

理論では バンド幅パラメータ $\epsilon = 0$ のときに h_{min}, h_{max}, H, H' の分布は Rayleigh 分布になり、狭帯域スペクトラムの場合には近似的に Rayleigh 分布になるとされている。このような狭帯域スペクトラムの場合には、タイムヒストリーで上向きの Zero Cross と下向きの Zero Cross の間には一つの極値しかない。別の表現では、上図で ● 印と ○ 印の数は等しく、×印で示した負の極大値、正の極小値は生じない。

今回の計算では、全振幅 (H あるいは H') は前図のようにとり、×印は抹消し、もとの記録を狭帯域的に修正

してしまっている。したがって、Table 3.2-2 の 2 ~ 6 欄の H の統計値に X 印の値は全く入っていない。1 欄の全振幅の数 N についても同様である。

波形の極大値 h_m の Rayleigh 分布は次式で与えられる。

$$p(h_m) = \frac{h_m}{\sigma^2} e^{-\frac{h_m^2}{2\sigma^2}} \quad \dots \quad (1)$$

h_m : $|h_{max}|$ あるいは $|h_{min}|$

σ^2 : 半振幅の Variance

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cdot d\omega = 2 \int_{\omega_L}^{\omega_H} S(\omega) \cdot d\omega$$

ここでは全振幅について考えているので、全振幅 (H) についての表現に書き改める。

$$p(H) dH = p(h_m) dh_m$$

であるとしてよいので、 $h_m = H/2$ とすると

$$p(H) = \frac{1}{2} p\left(\frac{H}{2}\right) = \frac{1}{2} p(h_m)$$

したがって、全振幅 H の Rayleigh 分布は (1) 式から

$$p(H) = \frac{H}{4\sigma^2} \cdot e^{-\frac{H^2}{8\sigma^2}} \quad \dots \quad (2)$$

となる。

いま、全振幅の平均値 $\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$ と定義する。一方、確率分布 $p(H)$ の一次モーメントは平均値に等しいので、

$$\bar{H} = \int_0^{\infty} H p(H) \cdot dH = \int_0^{\infty} \frac{H^2}{4\sigma^2} \cdot e^{-\frac{H^2}{8\sigma^2}} \cdot dH = \sigma \sqrt{2\pi} \quad \dots \quad (3)$$

この関係で Rayleigh 分布を書き直すと

$$p(H) = \frac{\pi \bar{H}}{2 \bar{H}^2} e^{-\frac{\pi H^2}{4 \bar{H}^2}} \quad \dots \quad (4)$$

となる。

全振幅の root mean square $\equiv H_{rms}$ とすると 確率分布 $p(H)$ の 2 次モーメントは Mean Square $(H_{rms})^2$ に等しいので次式を得る。

$$H_{rms}^2 = \int_0^{\infty} H^2 \cdot p(H) \cdot dH = \int_0^{\infty} \frac{H^3}{4\sigma^2} \cdot e^{-\frac{H^2}{8\sigma^2}} \cdot dH = 8\sigma^2 = \frac{4}{\pi} \bar{H}^2 \quad \dots \quad (6)$$

故に $\sigma = \frac{1}{2\sqrt{2}} H_{rms}$

$$H_{rms} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{H} = 1.129 \bar{H} \quad \dots \quad (6)$$

この関係を使用して Rayleigh 分布を書き直すと

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \cdot e^{-\frac{H^2}{H_{rms}^2}} \quad \dots \quad (7)$$

なる全振幅の Rayleigh 分布としてよく使用されている型が得られる。

$$H_{rms}^2 = 8\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2 = E \quad \text{Mean Square なる } E \text{ を使用して}$$

$$p(H) = \frac{2H}{E} \cdot e^{-\frac{H^2}{E}}$$

と表現している文献がある。

高い方から $\frac{1}{n}$ の平均値 ($H_{1/n}$) は、 Rayleigh 分布では次式で与えられる。

$$H_{1/n} = H_{rms} [\sqrt{\log_e n} + \left(\frac{n}{2} \right) \sqrt{\pi} (1 - erf \sqrt{\log_e n})] \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

erf : error function

$n = 3$ は全振幅の有義値、 $n = 10$ は H_{10} 最大平均全振幅であるが、 (8) 式から次の関係が得られる。

$$H_{1/3} = 1.598 \bar{H} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$H_{1/10} = 2.032 \bar{H} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

また、全振幅の数 N のうち最高の全振幅 H_{max} は Longuet-Higgins によると、

$$\begin{aligned} H_{max} &= H_{rms} \sqrt{\log_e N} = 1.129 \bar{H} \sqrt{\log_e N} \quad \dots \dots \dots \quad (11) \\ &= 0.707 H_{1/3} \sqrt{\log_e N} \end{aligned}$$

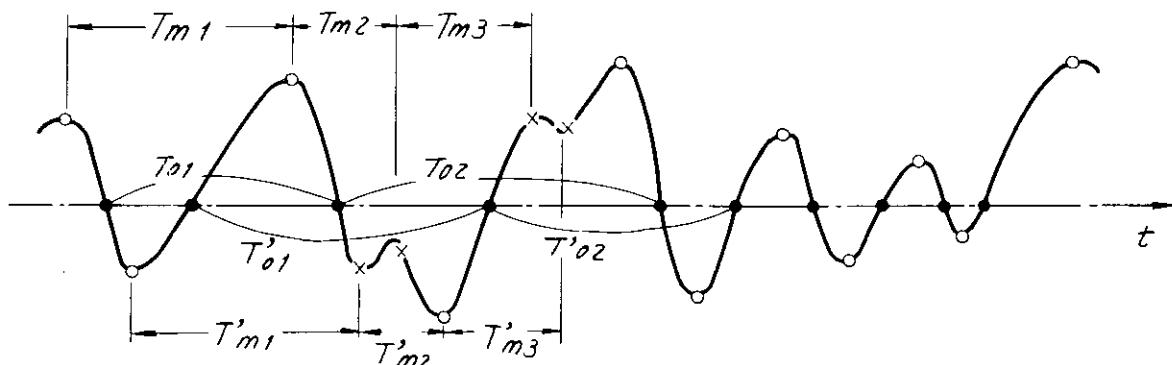
であり、

$$\left. \begin{array}{l} H_{100} = 2.45 \bar{H} \\ H_{200} = 2.62 \bar{H} \\ H_{500} = 2.83 \bar{H} \\ H_{1000} = 2.98 \bar{H} \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

となる。今回の実験では

$N \approx 100 \sim 500$ であるから、 $H_{max} \approx 2.5 \sim 2.8 \bar{H}$ 程度である。

3.2.4 周期の統計解析 (Table 3.2-2 の⑩, ⑪, ⑫欄)



上図のようには、周期には

Zero Cross の周期 $\left[\begin{array}{l} T_{01}, T_{02} \dots \dots \\ T'_{01}, T'_{02} \dots \dots \end{array} \right]$

Peak to Peak の周期 $\left[\begin{array}{l} T_{m1}, T_{m2} \dots \dots \\ T'_{m1}, T'_{m2} \dots \dots \end{array} \right]$

の 4通りの数列が考えられるが、平均周期として

\bar{T}_0 , \bar{T}'_0 と \bar{T}_m , \bar{T}'_m が算出される。

一方、スペクトラムが求まっていると、Zero Cross の平均周期は

$$(\bar{T}_{02})_s \equiv 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

なる式で与えられる。また狭帯域の場合は

$$(\bar{T}_{01})_s \equiv 2\pi \left(\frac{m_0}{m_1} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

で算出される。この関係は I. S. S. C. スペクトラムで使用されている。

一方、Peak to Peak の平均周期は

$$(\bar{T}_m)_s \equiv 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

になるとされている。

ここで m_n はスペクトラムの n 次のモーメントで

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n \cdot S(\omega) \cdot d\omega \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

$$\begin{aligned} m_0 &= \int_0^\infty S(\omega) \cdot d\omega \\ m_1 &= \int_0^\infty \omega \cdot S(\omega) \cdot d\omega \\ m_2 &= \int_0^\infty \omega^2 \cdot S(\omega) \cdot d\omega \\ m_4 &= \int_0^\infty \omega^4 \cdot S(\omega) \cdot d\omega \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (17)$$

で定義される。 $S(\omega)$ を $h(t)$ のスペクトラムだとすると、 m_2 は $\ddot{h}(t)$ の、 m_4 は $\ddot{h}(t)$ のスペクトラムの囲む面積を意味する。

3.2.5 帯域幅パラメーター ϵ (Table 2 の ④, ⑥ 欄)

よく知られているように

$$\epsilon_s = \sqrt{\frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4}} = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

で表わされる ϵ_s をスペクトラムの帯域幅を示すパラメーターとして使用する。

$\epsilon \rightarrow 0$ で狭帯域となり $\epsilon = 0$ では全振幅の分布は Rayleigh 分布となり、 $\epsilon \rightarrow 1$ で広帯域となり $\epsilon = 1$ では全振幅の分布が正規分布となる。

(13), (14) 式から

$$\frac{(\bar{T}_m)_s}{(\bar{T}_{02})_s} = \sqrt{\frac{m_2/m_4}{m_0/m_2}} = \sqrt{\frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad \text{であるから}$$

(18) 式より

$$\epsilon_s = \sqrt{1 - \left[\frac{(\bar{T}_m)_s}{(\bar{T}_{02})_s} \right]^2} \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

いま、スペクトラム解析から得られる $(\bar{T}_{02})_s$ が統計解析から得られる Zero Cross の実測平均周期 \bar{T}_0 に対応すると仮定し、(19) 式の $(\bar{T}_m)_s$, $(\bar{T}_{02})_s$ を統計解析から得られる平均周期 \bar{T}_m , \bar{T}_0 で置き換えると 次式の ϵ' は統計解析から得られる帯域幅パラメーターとみなせる。

$$\epsilon' = \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_0} \right)^2} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

したがって $\epsilon' \approx \epsilon_s$ に近いことが期待される。

ここで特に注意したいことは、 ϵ' の計算には Peak to Peak の周期 T_m を使用しているが、本論では振幅の計算などには $\bar{T}_m = \bar{T}_0$ になるように、すなわち $\epsilon' = 0$ になるように原波型を修正してしまっている。

したがって、⑯欄の ϵ' は⑭欄の ϵ_s とのみ比較が可能であり、⑨～⑬欄の常数は Rayleigh 分布 ($\epsilon = 0$) の値に近くなると期待されるもので、⑯⑭欄の ϵ が与える常数とは無関係である。

Table 3.2-1 数値解析用に使用した装置

チ - ム 名	データ処理装置 (A-D 変換装置)	使 用 重 算 機	入 力	出 力	解 析
機名	機型式	容 量			担当者名
1 日立・府大	DATAC-1000	HITAC 10	8 kW	紙テープ*	雁野
2 船研	AIDAC 100-8	FACOM 270/20	16 kW	"	ラインプリント-プロッタ-川
3 住重・鉢菅	AIDAC 100-8	"	"	"	福原
4 阪大・府大	TEAC DP-300	TOSBAC 3400	42 kW	カート	細田
5 川重	DATAC-1000	FACOM 230/35	32 kW	紙テープ*	永松
6 三菱	TEAC DP-400 DP-300	IBM 360/65	32 kW	磁気テープ 紙テープ*	武鶴
7 東大	JEC-6	HITAC 5020E	64 kW	カート	ラインプリント-プロッタ-川
8 石播・三井	DATAC 1500	IBM 1130	16 kW	磁気テープ*	田中
9 横大	TEAC DP 200	HITAC 5020	48 kW	紙テープ*	ラインプリント-笠原

Table 3.2-2

PHENOMENON

unit _____

Team _____

M.V. _____

Ward _____

	Exp. No.					
S T A T I S T I C O A F L	1 N [No. of Double Amp.]					
	2 \bar{H} [Mean Double Amp.]					
	3 Hrms [Root Mean Sq D.A.]					
	4 $H_{\frac{1}{2}}$					
	5 $H_{\frac{1}{2}}$					
	6 Hmax					
	7 \bar{T}_o [Zero Cross Mean]	$\rightarrow \doteq (T_{01})_s$ or $(T_{02})_s$				
	8 \bar{T}_m [Peak to Peak Mean]	$\rightarrow \doteq (T_m)_s$				
	9 Hrms/ \bar{H}	$\rightarrow 1.129$				
	10 $H_{\frac{1}{2}}/\bar{H}$	$\rightarrow 1.598$				
	11 $H_{\frac{1}{2}}/\bar{H}$	$\rightarrow 2.032$				
	12 Hmax/ \bar{H}	$\rightarrow 2.5 \sim 2.8$ ($N = 100 \sim 500$)				
	13 σ_s/\bar{H}	$\rightarrow 0.399$				
	14 \bar{T}_m/\bar{T}_o	< 1				
	15 $\sigma' = (\frac{1}{2\sqrt{2}}) \cdot Hrms$	$\rightarrow \doteq \sigma_s$				
	16 $\varepsilon' = \sqrt{1 - (\bar{T}_m/\bar{T}_o)^2}$	$\rightarrow \doteq \varepsilon_s$				
S P E C T R A L A N A L Y S I S	17 Sampling Time					
	18 No. of Data					
	19 No. of Lag					
	20 ω_L [T_H] [Lower Limit of Integ.]					
	21 ω_H [T_L] [Higher Limit of Integ.]					
	22 ω_p [T_F] [Peak Freq.]					
	23 $\sigma_s = \sqrt{2} \int_0^\infty S(\omega) d\omega$					
	24 $\varepsilon_s = \sqrt{(m_0 m_4 - m_2^2)/m_0 m_4}$	$0 < \varepsilon_s < 1$, $\rightarrow 0$ Rayleigh 分布				
		$\rightarrow 1$ Gauss 分布				
	25 $(T_{01})_s = 2\pi(m_0/m_1)$					
V I M S E U A A N L	26 $(T_{02})_s = 2\pi\sqrt{m_0/m_2}$					
	27 $(T_m)_s = 2\pi\sqrt{m_2/m_4}$					
	28 Hv [Mean Double Amp.]					
	29 Tv [Mean Period]					
	30 Hv/ \bar{H}					
	31 Tv/ \bar{T}_o					

3.3 統計数値解析用プログラム

東京大学 大川 豊

3.3.1 概要

前節 [3.2 実測記録の統計数値解析] において述べられている内容を、デジタル電子計算機を用いて解析する際のプログラムについて以下に説明する。3.3.2においてはスペクトラム解析を行なうためのプログラムを、3.3.3においては統計解析を行なうためのプログラムを、さらに 3.3.4においては具体例として入力データとその解析結果を示している。

なお、このプログラムはFORTRAN IVによったものであり、計算結果は HITAC 5020E を使用した例である。他の機種の計算機を使用する場合には、入出力ならびにプロッターに関する部分を若干手直しする必要がある。

3.3.2 TIME SERIES ANALYSIS + POWER SPECTRUM AND CORRELOGRAM

3.3.2.1 概要

時系列のパワースペクトラム、コレログラムを求め、カーブプロッターで表示する。

スペクトラムのウインドウは hamming, hanning, W1, Q の 4 種選択可能。

インプットデータに対するフィルターは $x_i = b_0 x_i + b_1 (x_{i-1} + x_{i+1})$ の形ならば可能。

パワースペクトラムを求める際のラグの数(時間)はインプットデータの $\frac{1}{10}$ 、インプットデータの数 2400 以内、時系列の数はコントロールにより何組でも可能。

3.3.2.2 データの入れ方

① NR (I 2)

時系列の数

② B0, B1 (2F 12, 0)

インプットデータに対するフィルター、§ 1 b0, b1 に当る。

B0 = 0 又はブランクカードにしておけばフィルターはかかるない。

③ DSP, ID1M (3A5, 5X, A5) <文字データ>

DSPはデータの名前 15字以内 例 EXP. NO. 07 ROLL

ID1Mはデータの単位 5文字以内 例 bbDEG

1 16 21
EXP. NO. 07 ROLL _____ bbDEG
5 X

④ ZLEVEL, CFACT, H (3F 12, 0)

ZLEVEL はデータの 0-Level ZLEVEL = 0 のときは全体の平均値が ZLEVEL となる。

CFACT はキャリブレーション係数

Hはサンプリングタイム Δt 単位 sec

$$x_i = (x_i - ZLEVEL) \times CFACT$$

として計算される。

⑤ III, WMAX (I 1, 9X, F 12, 0)

III はウインドウの種類の選択

III = 1 HAMMING-WINDOW

2 HANNING-WINDOW

3 W1-WINDOW

4 Q-WINDOW (W2-WINDOW)

WMAXはスペクトラムの値が高周波で小さくなることがわかっているとき計算する最大の周波数の値

(rad/sec)

WMAX = 0 又はブランクならば, $WMAX = \frac{\pi}{\Delta t}$ としてスペクトラムの値は相関関数のラグと同じ数だけ計算される。

⑥ KKK, WLLOW, WUPP (I1, 9X, 2F 12, 0)

スペクトラムのモーメントを求めるときのみ使用, その必要のないときはKKK=0又はブランクカードとする。

KKK=1のときスペクトラムのモーメント(0, 1, 2, 4次)及び, $\epsilon, (T_{01})_s, (T_{02})_s, (T_m)_s$ が計算される。

WLLOW, WUPPはモーメントをもとめるときの積分の下限と上限

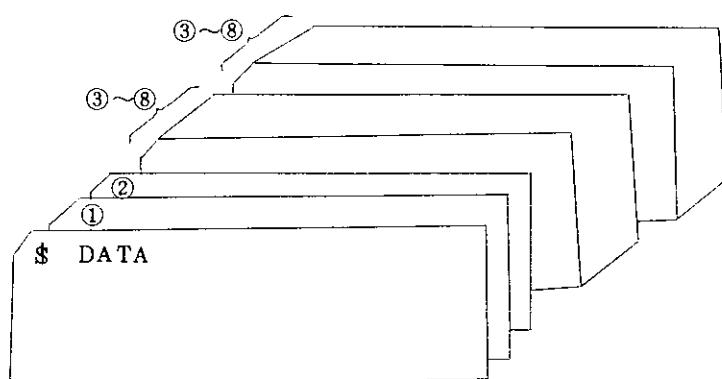
⑦ N (I4) ($N \leq 2400$)

一つの時系列のデータ数

⑧ X (I) (10F 7, 0)

時系列データ

以上, ③~⑧を一つの時系列データデックの単位とする。



$(T_{01})_s$ を計算するための補足

補足①

```
CALL SEKIBN(SWIND, OMEGA, SMON, DW, 1, IINW, IFNW)  
SMO1 = SMON  
TIMEAN = 2.0 * PAI * SMO1 / SMO1
```

補足②

```
WRITE(6, 2028) SMO1  
2028 FORMAT(1H0, 20X, 4HM1=, E15.7)
```

補足③

```
WRITE(6, 2029) TIMEAN  
2029 FORMAT(1H0, 20X, 4HT01=, E15.7)
```

```

C      LINE SERIES ANALYSIS 1 POWER SPECTRUM AND CORRELOGRAM
DIMENSION X(2400),R(400),TAU(400),S(400),SWIND(400),OMEGA(400)
DIMENSION DSP(3),NAMEW(3)
DIMENSION BUFFER(2048)
DIMENSION SMG(5)
READ(5,1000) NR
1000 FORMAT(12)
READ(5,1100) B0,B1
1100 FORMAT(2F12.0)
CALL PLOTS(BUFFER(1),2048,10HMAEDA HISA,10HAKI
JJJ=0
9 JJJ=JJJ+1
IF(JJJ.GT.NR) GO TO 10
READ(5,1001) DSP, IDIM
1001 FORMAT(3A5,5X,A5)
READ(5,1002) ZLEVEL, CFACT, H
1002 FORMAT(3F12.0)
READ(5,1003) III, WMAX
1003 FORMAT(11,9X,F12.0)
READ(5,1003) KKK, WLLOW, WUPP
1103 FORMAT(11,9X,2F12.0)
READ(5,1004) N
1004 FORMAT(14)
READ(5,1005)(X(I),I=1,N)
1005 FORMAT(10F7.0)
IF(B0.EQ.0.0) GO TO 3000
QX=X(1)
X(1)=B0*X(1)+2.0*B1*X(2)
DO 120 I=2,N-1
PX=X(I)
X(I)=B0*X(I)+B1*(QX+X(I+1))
QX=PX
120 CONTINUE
X(N)=B0*X(N)+2.0*B1*QX
3000 IF(ZLEVEL.EQ.0.0) GO TO 21
GO TO 22
21 DO 110 I=1,N
110 ZLEVEL=ZLEVEL+X(I)
ZLEVEL=ZLEVEL/FLOAT(N)
XMAX=0.0
XMIN=0.0
22 DO 100 I=1,N
X(I)=(X(I)-ZLEVEL)*CFACT
IF(X(I).GT.XMAX) XMAX=X(I)
IF(X(I).LT.XMIN) XMIN=X(I)
100 CONTINUE
MM=N/10
DO 200 J=1,MM+1
SUM1=0.0
SUM2=0.0
M=N-J+1
DO 201 I=1,M
K=I+J-1
SUM1=SUM1+X(I)*X(K)
SUM2=SUM2+X(I)
201 CONTINUE
T=M
R1=SUM1/T

```

```

SRR=0.0
DO 202 I=1,M
K=I+J-1
SRR=SRR+X(K)*SUM2
202 CONTINUE
R2=SRR/T**2
R(J)=R1-R2
TAU(J)=FLOAT(J-1)*H
200 CONTINUE
C FOURIER COS TRANSFORMATION
PAI=3.14159265
DW=PAI/(FLUAT(MM)*H)
L=NMAX/DW+0.0
IF(L>NMAX,EQ.0.0) L=MM+1
LC=L-2
DO 300 J=1,L
OM=FLOAT(J-1)*DW
SRR=0
DO 301 I=2,MM
301 SRR=SRR+R(I)*COS(OM*TAU(I))
S(J)=(R(1)+2.0*SRR+R(MM+1)*COS(OM*TAU(MM+1)))*H*0.5/PAI
300 CONTINUE
13 GO TO (1,2,3,4),III
1 A0=0.54
A1=0.23
A2=0.0
NAMEW(1)=SHHAMM1
NAMEW(2)=SHNG-WI
NAMEW(3)=SHNDOW
GO TO 25
2 A0=0.5
A1=0.25
A2=0.0
NAMEW(1)=SHHANN1
NAMEW(2)=SHNG-WI
NAMEW(3)=SHNDOW
GO TO 25
3 A0=-0.5132
A1=0.2434
A2=0.0
NAMEW(1)=SHW1-WI
NAMEW(2)=SHNDOW
NAMEW(3)=SH
GO TO 25
4 A0=0.64
A1=0.24
A2=-0.06
NAMEW(1)=SH0-WIN
NAMEW(2)=SH0OW
NAMEW(3)=SH
GO TO 25
25 OMEGA(1)=0.0
SWIND(1)=A0*S(1)+2.0*A1*S(2)+2.0*A2*S(3)
OMEGA(2)=DW
SWIND(2)=A0*S(2)+A1*(S(1)+S(3))+A2*(S(2)+S(4))
DO 500 J=3,L
OMEGA(J)=FLOAT(J-1)*DW
SWIND(J)=A0*S(J)+A1*(S(J-1)+S(J+1))+A2*(S(J-2)+S(J+2))

```

```

500 CONTINUE
    (FWMAX,LE,.4) GO TO 26
    GO TO 27
26 OMEGA(MM)=FLOAT(MM-1)*DW
    SWIND(MM)=A1*S(MM)+A1*(S(MM-1)+S(MM+1))+A2*(S(MM-2)+S(MM))
    OMHGA(MM+1)=FLOAT(MM)*DW
    SWIND(MM+1)=A1*S(MM+1)+2.0*A1*S(MM)+2.0*A2*S(MM-1)
27 XVARI=R(1)
    DO 28 J=1,MM+1
28 R(J)=R(J)/XVARI
    IF(KKK.EQ.0) GO TO 700
C     SPECTRUM MOMENT
    DO 701 I=1,5,2
        NM=I-1
        J=0
30 J=J+1
    AAA=WLOW-OMEGA(J)
    IF(AAA) 31,31,32
31 IINW=J
    GO TO 33
32 IF(AAA.GT.0.5*DW) GO TO 30
    IINW=J
33 J=J+1
    AAA=WUPP-OMEGA(J)
    IF(AAA) 34,34,35
34 IINW=J
    GO TO 36
35 IF(AAA.GT.0.5*DW) GO TO 33
    IINW=J
36 CALL SPKIBN(SWIND,OMEGA,SMOM,DW,NM,IINW,IFNW)
    SM0(I)=SMOM
701 CONTINUE
    EPS=(SM0(1)*SM0(5)-SM0(3)**2)/SM0(1)/SM0(5)
    EPS=SQRT(EPS)
    F0EXP=SQRT(SM0(3)/SM0(1))/PAI
    FMEXP=SQRT(SM0(5)/SM0(3))/(2.0*PAI)
    TOMEAN=2.0/F0EXP
    TMMEAN=1.0/FMEXP
C     PRINT
    WRITE(6,2016) DSP
2016 FORMAT(1H1,//////1H ,20X,3A5,//14 ,25X,20HSTATISTICAL VALUES 1)
    WRITE(6,2017)
2017 FORMAT(1H0,20X,15HSPECTRUM MOMENT///)
    WRITE(6,2025) OMEGA(IINW)
2025 FORMAT(1H ,20X,13HINTEGRAL AREA,5X,8HOMEGA=0=,E15.7)
    WRITE(6,2026) OMEGA(IFNW)
2026 FORMAT(1H ,38X,8HOMEGA=N=,E15.7)
    DO 702 I=1,5,2
        IBM=I-1
        WRITE(6,2018) IBM,SM0(I)
2018 FORMAT(1H0,20X,1HM,I1.2H =,E15.7)
    702 CONTINUE
    WRITE(6,2019) EPS
2019 FORMAT(1H0,20X,4HE =,E15.7)
    WRITE(6,2020) TOMEAN
2020 FORMAT(1H0,20X,4HT=0=,E15.7)
    WRITE(6,2021) TMMEAN
2021 FORMAT(1H0,20X,4HT-M=,E15.7)

```

```

      WRITE(6,2022)
2022 FORMAT(1H0,2UX,6H( NOTE)//1H ,25X,26HE**2=(M0*M4-M2**2)/(M0*M4))
      WRITE(6,2023)
2023 FORMAT(1H0,25X,30HT=MEAN PERIOD DUE TO 0-CROSS//1H ,23X,21H( 2*P
   *(1+SQRT(M0/M2) ))
      WRITE(6,2024)
2024 FORMAT(1H0,25X,35HT=M=MEAN PERIOD DUE TO PEAK TO PEAK//1H ,23X,21H
   *( 2*PAI+SQRT(M2/M4) ))
700 WRITE(6,2001)
2001 FORMAT(1H1,13X,30HPOWER SPECTRUM AND CORRELOGRAM)
      WRITE(6,2002) DSP
2002 FORMAT(1H0,20X,3A5)
      WRITE(6,2003) H
2003 FORMAT(1H ,20X,15HSAMPLING TIME =,F5.3,2X,3HSEC)
      WRITE(6,2004) N
2004 FORMAT(1H ,20X,15HNUMBER OF DATA=,I4)
      WRITE(6,2005) MM
2005 FORMAT(1H ,20X,15HNUMBER OF LAG =,I4)
      WRITE(6,2006) NAMEW
2006 FORMAT(1H ,20X,3A5)
      WRITE(6,2007) XVARI, IDIM
2007 FORMAT(1H ,20X,15HVARIANCE(R(0))=,E15.7,2X,1H(,A5,4H**2))
      WRITE(6,2008)
2008 FORMAT(1H0,4X,11H0.FREQUENCY,6X,9HFREQUENCY,7X,8HT.PERIOD,10X,8HSP
   +EUTRUM,7X,6HSPECTRUM,11X,13HTAU(LAG TIME),7X,11H0CORRELOGRAM)
      WRITE(6,2009) IDIM
2009 FORMAT(1H ,5X,9H(RAD/SEC),8X,7H(C/SEC),9X,5H(SEC),6X,1H(,A5,8H**2*
   +SEC),7X,8H(WINDOW),15X,5H(SFC))
   FREQ=OMEGA(1)/(2.0*PAI)
      WRITE(6,2010) OMEGA(1),FREQ,S(1),SWIND(1),TAU(1),R(1)
2010 FORMAT(1H ,2E15.7,7X,8HINFINITE,3X,2E15.7,4X,1H*,4X,E15.7,3X,E15.7
   *)
   IF(WMAX.EQ.0.0) LL=MM+1
   DO 600 I=2,LL
   PERIOD=2.0*PAI/OMEGA(I)
   FREQ=1.0/PERIOD
   WRITE(6,2011) OMEGA(I),FREQ,PERIOD,S(I),SWIND(I),TAU(I),R(I)
2011 FORMAT(1H ,3E15.7,3X,2E15.7,4X,1H*,4X,E15.7,3X,E15.7)
600 CONTINUE
   IF(WMAX.EQ.0.0) GO TO 29
   DO 601 I=LL+1,MM+1
   WRITE(6,2012) TAU(I),R(I)
2012 FORMAT(1H ,82X,1H*,4X,E15.7,3X,E15.7)
601 CONTINUE
29 WRITE(6,2013) DSP
2013 FORMAT(1H1,20X,10HINPUT DATA,2X,3A5,2X,11HTIME SERIES)
      WRITE(6,2014) IDIM
2014 FORMAT(1H ,20X,9HDIMENSION,2X,A5//)
      WRITE(6,2015)(X(I),I=1,N)
2015 FORMAT(1H ,10E12.4)
      WRITE(6,2027) XMIN,XMAX
2027 FORMAT(1H0,5HXMIN=,E14.6,5X,5HXMAX=,E14.6)
C   CALCOMP
   CALL PLOT(3.0,3.0,-3)
   SS=FLOAT(MM)*0.2
   WIDTH=SS*8*WM4X/PAI
   IF(WMAX.EQ.0.0) WIDTH=SS
   CALL SCALE(OMEGA,WIDTH,LL,1)

```

```

CALL SCALE(SWIND,10.0,LL,1)
CALL LINE(OMEGA,SWIND,LL,1,0,0)
CALL AXIS(0.0,0.0,9H(RAD/SEC),-9.WIDTH,0.0,OMEGA(LL+1),OMEGA(LL+2)
*)
CALL AXIS(0.0,0.0,10HDEG**2*SEC,10,10.0,90.0,SWIND(LL+1),SWIND(LL+
*2))
OR=999.0
CALL SYMBOL(7.0,10.0,0.4,BHSPECTRUM,0.0,8)
CALL SYMBOL(17.0,8.5,0.3,DSP(1),0.0,5)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,DSP(2),0.0,5)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,DSP(3),0.0,5)
CALL SYMBOL(17.0,7.9,0.3,10HSAMPLING T,0.0,10)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,4HTIME,0.0,4)
CALL NUMBER(OR,OR,0.3,H,0.0,3)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,3HSEC,0.0,3)
CALL SYMBOL(17.0,7.3,0.3,NAMEW(1),0.0,5)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,NAMEW(2),0.0,5)
CALL SYMBOL(OR,OR,0.3,NAMEW(3),0.0,5)
REALN=N
REALM=MM
CALL SYMBOL(17.0,6.7,0.3,10HNO.OF DATA,0.0,10)
CALL NUMBER(OR,OR,0.3,REALN,0.0,-1)
CALL SYMBOL(17.0,6.1,0.3,10HNO.OF LAG ,0.0,10)
CALL NUMBER(OR,OR,0.3,REALM,0.0,-1)
WIDTH=FLOAT(MM)*0.2
CALL PLOT(0.0,13.0,-3)
PFX=0.2/H
PFY=2.0
CALL PLOT(0.0,2.0,3)
CALL PLOT(0.0,-2.0,2)
CALL PLOT(-1.15,-2.0,2)
CALL PLOT(-0.15,-1.0,3)
CALL PLOT(0.0,-1.0,2)
CALL PLOT(0.0,1.0,3)
CALL PLOT(-0.15,1.0,2)
CALL PLOT(-1.15,2.0,3)
CALL PLOT(0.0,2.0,2)
DO 801 I=2,MM+1
R(I)=PFY*R(I)
TAU(I)=PFX*TAU(I)
CALL PLOT(TAU(I),R(I),2)
801 CONTINUE
CALL PLOT(TAU(MM+1),0.0,3)
CALL PLOT(-1.15,0.0,2)
CALL SYMBOL(-1.0,-2.1,0.21,4H-1.0,0.0,4)
CALL SYMBOL(-0.4,-0.1,0.21,1H0.0,0.0,1)
CALL SYMBOL(-0.8,1.9,0.21,3H1.0,0.0,3)
K=MM/10
DO 802 I=1,K
PX=2.0*FLOAT(I)
CALL PLOT(PX,0.1,3)
CALL PLOT(PX,-0.1,2)
PX=PX-0.2
FLT=FLOAT(I)*10.0
CALL NUMBER(PX,-0.35,0.21,FLT,0.0,-1)
802 CONTINUE
PX=PX-0.8
CALL SYMBOL(PX,-1.0,0.28,3HLAG,0.0,3)

```

```
CALL SYMBOL(7.0,2.5,0.4,10HCORRFLOGRA,0.0,10)
CALL SYMBOL(11.0,2.5,0.4,1HM,0.0,1)
CALL PLOT(30.0,-10.0,-3)
GO TO 9
10 CALL PLOTV
STOP
END
```

```
SUBROUTINE SEKIBN(S,OMEGA,SMOM,DW,NM,IIN,IFN)
DIMENSION S(400),OMEGA(400)
SMOM=0.5
DO 101 I=IIN+1,IFN-1
101 SMOM=SMOM+S(I)*OMEGA(I)**NM
SMOM=(SMOM+.5*(S(IIN)*OMEGA(IIN)**NM+S(IFN)*OMEGA(IFN)**NM))/DW
RETURN
END
```

3.3.3 TIME SERIES ANALYSIS 2 STATISTICAL VALUES OF THE RANDOM SIGNALS

3.3.3.1 概 要

- 不規則信号の
1. 確率分布に相当するヒストグラム
 2. O-Cross による見かけ上の振幅の分布(ヒストグラム)
 3. O-Cross による見かけ上の周期の分布(ヒストグラム)
 4. 極大(小)値間にによる見かけ上の周期の分布(ヒストグラム)

を求め、必要ならば 2~4 はカーブプロッターで表示することができる。

2~4 についてはそれらの平均値、 σ_1 平均値、 σ_2 平均値を求め、必要ならば大きな値から並べた図をカーブプロッターでかかせることができる。

1 は正規化された値で示され、累積分布も示されるので正規確写紙に直ちに表わすことができる。但し、ヒストグラムの分割点は任意の値ではなく、データの最大値 - 最小値を n 等分した点で示される。

3.3.3.2 データの入れ方

① II1, II2, II3, II4, II5, II6 (6I1)

1 又は 0 (ブランク), 1 ならばヒストグラムをカーブプロッターで表示する。

0 又はブランクならばプロッターを使用しない。

II1 → TPOC

II2 → TMOC

II3 → TPMX

II4 → TMMI

II5 → HPOC

II6 → HMOC

② NR, NDD (I2, I3)

NR は時系列の数、ND D は度数分布の等分数

③ B0, B1 (2F12, 0)

インプットデータに対する数値フィルター

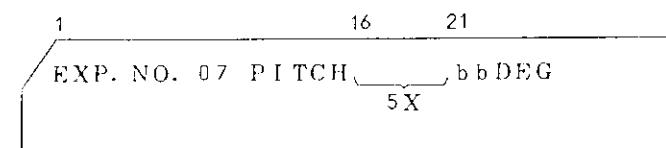
$$x_i = B0 \cdot x_i + B1 (x_{i-1} + x_{i+1})$$

として計算される。必要なないときは B0 = 0.0 又はブランクカードを入れればよい。

④ DNM, IDIM (3A5, 5X, A5) (文字データ)

DNM はデータの名前 (例) EXP. NO. 07 PITCH (15字以内)

IDIM はデータの単位 (例) b b DEG (5文字以内)
この中のどこにあってもよい。



⑤ XL, CF, DT (3F12, 0)

XL はデータの 0-Level XL=0 又はブランクのときは全体の平均値が XL となる。

CF はキャリブレーション係数

$$x_i = (x_i - XL) \times CF$$

として計算される。

DTはサンプリングタイム Δt 単位 sec

⑥ TDL, TDU, TDND (3F 12, 0)

§ 1, 3, 4(見かけの周期)でヒストグラムを作る場合のはんいと分割幅(下図参照)

TDU値の予想がつかない場合は、多少大きめ

の値を入れておけばよい。TDLは多くの場合

0.0(ブランク)でよい。

⑦ HDL, HDU, HDND (3F 12, 0)

§ 1, 2(全振幅)でヒストグラムを作る場合

のはんいと分割幅(右図参照)

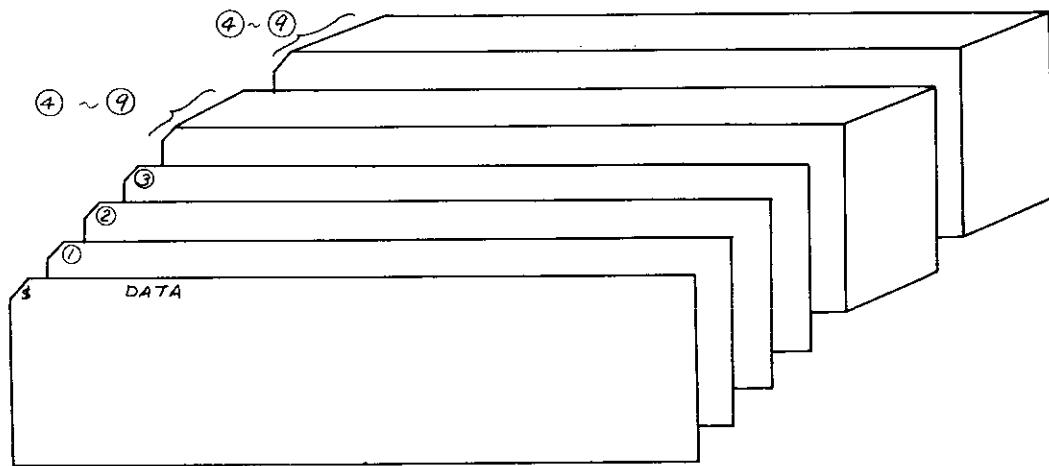
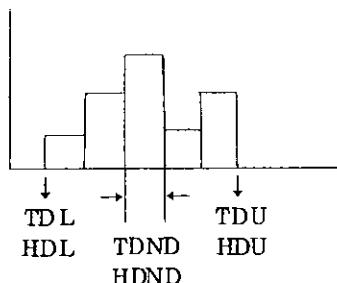
⑧ N (I 4)

一つの時系列のデータ数 $N \leq 2000$

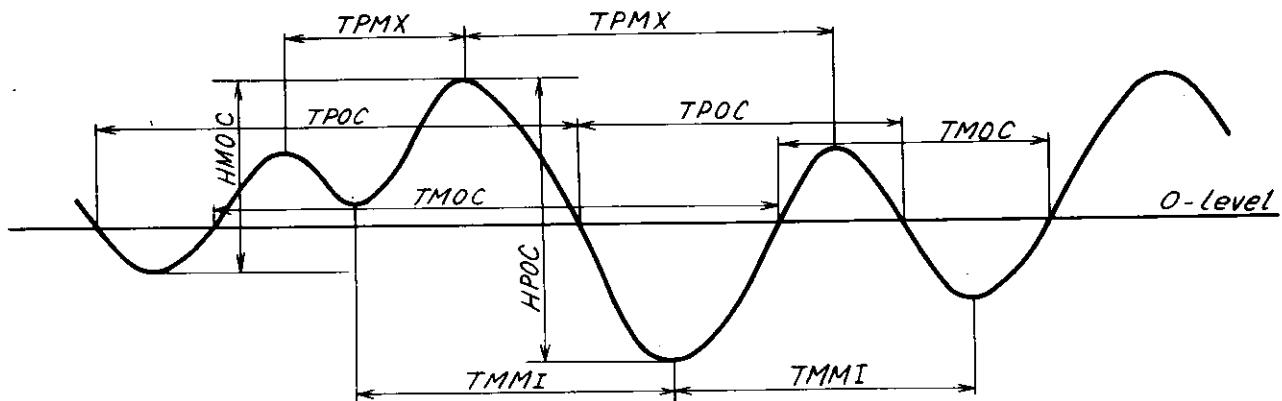
⑨ X (I) (10F 7, 0)

時系列データ

以上 ④～⑨を一つの時系列データデックの単位とする。



<定義>



*極値の推定は3点による二次曲線近似で行なう。

TIME SERIES ANALYSIS 2 STATISTICAL VALUES OF THE RANDOM SIGNALS

1. PROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF ELEVATION(NORMALIZED)
2. DISTRIBUTION OF APPARENT AMPLITUDE DUE TO 0-CROSS
3. DISTRIBUTION OF APPARENT PERIOD DUE TO PEAK TO PEAK
4. DISTRIBUTION OF APPARENT PERIOD DUE TO 0-CROSS

COMMON XVAR

DOUBLE LENGTH INTEGER NA

DIMENSION X(2000),HM(400),TM(400),TZ(400),DNM(3)

DIMENSION TPOC(200),TMOC(200),TPMX(200),TMMI(200)

DIMENSION HPOC(200),HMO(200),NA(7)

NA(1)=10HT.0-CROSS1

NA(2)=10HT.0-CROSS2

NA(3)=10HT.P.TO P.1

NA(4)=10HT.P.TO P.2

NA(5)=10HH.0-CROSS1

NA(6)=10HH.0-CROSS2

NA(7)=10HELEVATION

READ(5,998) II1,II2,II3,II4,II5,II6

998 FORMAT(6I1)

READ(5,999) NR,NDD

999 FORMAT(I2,I3)

READ(5,1000) B0,B1

1000 FORMAT(2F12.0)

NNN=0

1 NNN=NNN+1

IF(NNN.GT.NR) STOP

READ(5,1001) DNM, IDIM

1001 FORMAT(3A5,5X,A5)

READ(5,1002) XL,CF,DT

1002 FORMAT(3F12.0)

READ(5,1002) TDL,TDU,TDND

READ(5,1002) HDL,HDU,HDND

READ(5,1003) N

1003 FORMAT(I4)

READ(5,1004)(X(I),I=1,N)

1004 FORMAT(10F7.0)

IF(B0.EQ.0.0) GO TO 3000

QX=X(1)

X(1)=B0*X(1)+2.0*B1*X(2)

DO 200 I=2,N-1

PX=X(I)

X(I)=B0*X(I)+B1*(QX+X(I+1))

QX=PX

200 CONTINUE

X(N)=B0*X(N)+2.0*B1*X

3000 XL=0.0

DO 100 I=1,N

100 XL=XL+X(I)

XL=XL/FLOAT(N)

DO 101 I=1,N

101 X(I)=(X(I)-XL)*CF

CALL KYOKCH(X,N,DT,HM,TM,IK)

CALL ZEROCCR(X,N,DT,TZ,IZ)

***** TMOC,TPOC *****

I=0

2 I=I+1

IF(HM(1)*HM(2*I)) 3,2,2

3 K=2*I

```

IF(TZ(1)-TM(K-1)) 4,5,5
4 IF(HM(K-1)) 6,7,7
6 I=0
8 I=I+1
II=2*I+1
IF(II+1.GT.IZ) GO TO 10
TMOC(I)=TZ(II)-TZ(II-2)
TPOC(I)=TZ(II+1)-TZ(II-1)
GO TO 8
7 I=0
9 I=I+1
II=2*I+1
IF(II+1.GT.IZ) GO TO 10
TMOC(I)=TZ(II+1)-TZ(II-1)
TPOC(I)=TZ(II)-TZ(II-2)
GO TO 9
5 IF(HM(K-1)) 7,6,6
10 ITOC=I-1
***** TMMI,TPMX,HMPM,HPMM *****
I=0
11 I=I+1
IF(HM(1)*HM(2*I)) 12,11,11
12 K=2*I
IF(TZ(1)-TM(K-1)) 13,14,14
13 IF(HM(K-1)) 15,16,16
15 I=0
KK=K-1
17 I=I+1
II=2*I+KK
IF(II+1.GT.IK) GO TO 19
TMMI(I)=TM(II)-TM(II-2)
TPMX(I)=TM(II+1)-TM(II-1)
GO TO 17
16 I=0
KK=K-1
18 I=I+1
II=2*I+KK
IF(II+1.GT.IK) GO TO 19
TMMI(I)=TM(II+1)-TM(II-1)
TPMX(I)=TM(II)-TM(II-2)
GO TO 18
14 IF(HM(K-1)) 15,16,16
19 ITHM=I-1
***** HMOC *****
20 IF(HM(1)) 21,22,22
21 IF(HM(1)-HM(2)) 23,23,24
23 J=0
KK=1
25 J=J+1
JJ=KK
K=0
HMIN=HM(JJ)
26 K=K+1
KK=2*K+JJ-1
IF(KK+1.GT.IK) GO TO 36
IF(HM(JJ)*HM(KK)) 27,27,28
28 IF(HM(KK+1).LT.HMIN) HMIN=HM(KK+1)
GO TO 26

```

```

27 JJ=KK
HMAX=HM(JJ)
K=0
29 K=K+1
KK=2*K+JJ-1
IF(KK+1.GT.IK) GO TO 36
IF(HM(JJ)*HM(KK)) 30,30,31
31 IF(HM(KK+1).GT.HMAX) HMAX=HM(KK+1)
GO TO 29
30 HMOC(J)=HMAX-HMIN
GO TO 25
24 J=0
KK=2
GO TO 25
22 IF(HM(2)-HM(1)) 32,32,33
32 J=0
K=0
34 K=K+1
KK=2*K
IF(HM(1)*HM(KK)) 25,34,34
33 J=0
K=0
35 K=K+1
KK=2*K+1
IF(HM(2)*HM(KK)) 25,35,35
36 IHMOC=J-1
***** HPOC *****
37 IF(HM(1)) 38,39,39
39 IF(HM(2)-HM(1)) 40,40,41
40 J=0
KK=1
42 J=J+1
JJ=KK
K=0
HMAX=HM(JJ)
43 K=K+1
KK=2*K+JJ-1
IF(KK+1.GT.IK) GO TO 53
IF(HM(JJ)*HM(KK)) 44,44,45
45 IF(HM(KK+1).GT.HMAX) HMAX=HM(KK+1)
GO TO 43
44 JJ=KK
HMIN=HM(JJ)
K=0
46 K=K+1
KK=2*K+JJ-1
IF(KK+1.GT.IK) GO TO 53
IF(HM(JJ)*HM(KK)) 47,47,48
48 IF(HM(KK+1).LT.HMIN) HMIN=HM(KK+1)
GO TO 46
47 HPOC(J)=HMAX-HMIN
GO TO 42
41 J=0
KK=2
GO TO 42
38 IF(HM(1)-HM(2)) 49,49,50
49 J=0
K=0

```

```

51 K=K+1
  KK=2*K
  IF(HM(1)*HM(KK)) 42,51,51
50 J=0
  K=0
52 K=K+1
  KK=2*K+1
  IF(HM(2)*HM(KK)) 42,52,52
53 IHPOC=J-1
C   $$$$$ BUNPU *****
      CALL GAUS(X,N,NA(7),NDD)
      CALL BUNPU(TPOC,ITOC,NA(1),TPOCM,TPOCM3,TPOCM1,II1,TDL,TDU,TDND)
      CALL BUNPU(TMOC,ITOC,NA(2),TMOCM,TMOCM3,TMOCM1,II2,TDL,TDU,TDND)
      CALL BUNPU(TPMX,ITHM,NA(3),TPMXM,TPMXM3,TPMXM1,II3,TDL,TDU,TDND)
      CALL BUNPU(TMMI,ITHM,NA(4),TMMIM,TMMIM3,TMMIM1,II4,TDL,TDU,TDND)
      CALL BUNPU(HPOC,IHPOC,NA(5),HPOCM,HPOCM3,HPOCM1,II5,HDL,HDU,HDND)
      CALL BUNPU(HMOC,IHMOC,NA(6),HMOCM,HMOCM3,HMOCM1,II6,HDL,HDU,HDND)
C   PRINT
      WRITE(6,2001) DNM
2001 FORMAT(1H1,//////1H ,25X,3A5)
      WRITE(6,2002)
2002 FORMAT(1H0,20X,20HSTATISTICAL VALUES 2)
      WRITE(6,2003) XVAR, IDIM
2003 FORMAT(1H0,32HVARIANCE OF INPUT DATA      =,E15.7,A5,3H**2)
      WRITE(6,2004)
2004 FORMAT(1H0,33HAPPARENT AMPLITUDE DUE TO 0-CROSS)
      HMEAN=0.5*(HPOCM+HMOCM)
      WRITE(6,2005) HMEAN
2005 FORMAT(1H0,11X,21HMEAN VALUE      =,E15.7)
      HMEAN=0.5*(HPOCM3+HMOCM3)
      WRITE(6,2006) HMEAN
2006 FORMAT(1H0,11X,21H(1/3) HIGHEST MEAN =,E15.7)
      HMEAN=0.5*(HPOCM1+HMOCM1)
      WRITE(6,2007) HMEAN
2007 FORMAT(1H0,11X,21H(1/10)HIGHEST MEAN =,E15.7)
      WRITE(6,2008)
2008 FORMAT(1H0,15HAPPARENT PERIOD)
      TMEAN=0.5*(TPOCM+TMOCM)
      WRITE(6,2009) TMEAN
2009 FORMAT(1H0,32HMEAN PERIOD DUE TO 0-CROSS      =,E15.7)
      TMFAN=0.5*(TPMXM+TMMIM)
      WRITE(6,2010) TMEAN
2010 FORMAT(1H0,32HMEAN PERIOD DUE TO PEAK TO PEAK=,E15.7)
      WRITE(6,2011)
2011 FORMAT(1H1,32HKYOKUCHI OYABI SONO TIME(SECOND))
      I=1
57 II=I+9
      IF(II.GT.IK) II=IK
      WRITE(6,2012) I,(TM(J),J=I,II)
2012 FORMAT(1H0,2H=,I3,3X,10(2HT=,F8.3,1X))
      WRITE(6,2013)(HM(J),J=I,II)
2013 FORMAT(1H ,8X,10(2HH=,F8.3,1X))
      I=I+10
      IF(I.GT.IK) GO TO 58
      GO TO 57
58 WRITE(6,2014)
2014 FORMAT(1H0,23HZERO-CROSS TIME(SECOND))
      I=1

```

```
59  II=I+9
    IF(II.GT.IZ) II=IZ
    WRITE(6,2015) I,(TZ(J),J=I,II)
2015 FORMAT(1H ,2HI=,I3,3X,10(2HT=,F8.3,1X))
    I=I+10
    IF(I.GT.IZ) GO TO 60
    GO TO 59
60 GO TO 1
END
```

```

SUBROUTINE KYOKCH(X,N,DT,HM,TM,J)
COMMON XVAR
DIMENSION X(2000),HM(400),TM(400)
J=0
I=0
22 I=I+1
IF(I.GT.N-2) RETURN
IF((X(I+2)-X(I+1))*(X(I+1)-X(I))) 21,23,22
21 J=J+1
P=I
A=((X(I)+X(I+2))*0.5-X(I+1))/DT**2
B=-((P+0.5)*X(I)-2.0*P*X(I+1)+(P-0.5)*X(I+2))/DT
C=0.5*(P*(P+1.0)*X(I)-2.0*(P+1.0)*(P-1.0)*X(I+1)+P*(P-1.0)*X(I+2))
TM(J)=-0.5*B/A
HM(J)=C-B**2/(4.0*A)
GO TO 22
23 IF(X(I+2)-X(I+1)) 22,30,22
30 L=0
32 L=L+1
M=I+L+1
IF(M+1.GT.N) RETURN
IF((X(M+1)-X(M))*(X(I+1)-X(I))) 31,32,33
31 J=J+1
AA=L+1
IF(AA.EQ.2.0) GO TO 44
60 TM(J)=0.5*DT*FLOAT(M+I-1)
HM(J)=X(M-1)
GO TO 33
44 I=I+1
J=J-1
GO TO 21
33 I=I+L
GO TO 22
END

```

```

SUBROUTINE ZEROCR(X,N,DT,TZ,J)
COMMON XVAR
DIMENSION X(2000),TZ(400)
J=0
I=0
1 I=I+1
IF(I.GE.N) RETURN
IF(X(I)*X(I+1)) 2,3,1
2 J=J+1
T=ABS(X(I))*DT/(ABS(X(I))+ABS(X(I+1)))
TZ(J)=FLOAT(I-1)*DT+T
GO TO 1
3 IF(X(I).EQ.0.0) GO TO 1
L=0
10 L=L+1
M=I+L+1
IF(M.GT.N) RETURN
IF(X(I)*X(M)) 5,10,6
5 J=J+1
TZ(J)=0.5*DT*FLOAT(M+I-2)
GO TO 20
6 IF(L.GT.1) GO TO 20
P=I
T=DT*((P+1.0)*X(I)+(P-1.0)*X(I+2))/(X(I)+X(I+2))
IF(T.LT.P*DT) GO TO 8
J=J+1
TZ(J)=P*DT
J=J+1
TZ(J)=T
GO TO 20
8 J=J+1
TZ(J)=T
J=J+1
TZ(J)=P*DT
20 I=I+L
GO TO 1
END

```

```

SUBROUTINE BUNPUT(X,I,NAME,XMEAN,XM3,XM10,II,DL,DU,DND)
COMMON XVAR
DOUBLE LENGTH INTEGER NAME
DIMENSION X(200)
DIMENSION XX(200),YY(200),BUF(1024)
***** IREKAE *****
C
N=0
2 N=N+1
XMAX=-100000.0
IF(N.EQ.I) GO TO 1
NN=I-N+1
J=0
3 J=J+1
IF(J.GT.NN) GO TO 5
IF(X(J).GT.XMAX) GO TO 4
GO TO 3
4 XMAX=X(J)
JJ=J
GO TO 3
5 X(NN+1)=XMAX
DO 100 J=JJ,NN-1
100 X(J)=X(J+1)
GO TO 2
C ***** MEAN,VARIANCE *****
1 XMEAN=0.0
DO 101 J=1,I
X(J)=X(J+1)
XMEAN=XMEAN+X(J)
101 CONTINUE
XMEAN=XMEAN/FLOAT(I)
XM3=0.0
I3=I/3
I10=I/10
J=0
6 J=J+1
IF(J-1.EQ.I10) XM10=XM3/FLOAT(I10)
IF(J.GT.I3) GO TO 7
K=I-J+1
XM3=XM3+X(K)
GO TO 6
7 XM3=XM3/FLOAT(I3)
XMS=0.0
DO 102 J=1,I
102 XMS=XMS+X(J)**2
XMS=XMS/FLOAT(I)
XRMS=SQRT(XMS)
C ***** BUNPU ***** CALCOMP
WRITE(6,2001) NAME
2001 FORMAT(1H1,//////40HPROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF ,A10)
WRITE(6,2002)
2002 FORMAT(1H0,18X,5HLOWER,12X,8HUPPER(=),2X,7HDENSITY,1X,7HPARCENT,7X
*,1H*,5X,18HCUMULATIVE DENSITY,2X,7HPARCENT)
IF(II.EQ.0) GO TO 15
CALL PLOTS(BUF(1),1024,10HMAEDA HIS,10HAKI
CALL PLOT(3.0,3.0,-3)
Z=0.0
15 J=0
JJ=0

```

```

ND=(DU-DL)/DND
TU=DL
10 JJ=JJ+1
IF(JJ.GT.ND) GO TO 13
TL=TU
TU=TL+DND
K=0
11 J=J+1
IF(J.GT.I) GO TO 12
IF(X(J).GT.TU) GO TO 12
K=K+1
GO TO 11
12 J=J-1
PK=FLOAT(K)*100.0/FLOAT(I)
PJ=FLOAT(J)*100.0/FLOAT(I)
WRITE(6,2003) JJ,TL,TU,K,PK,TU,J,PJ
2003 FORMAT(1H ,I3,5X,E15.7,5X,E15.7,5X,I4,1H(,F7.3,1H),6X,1H*,3X,E15.7
*,5X,I4,1H(,F7.3,1H))
IF(II.EQ.0) GO TO 10
C CALCOMP 2
PK=PK*0.1
TTL=TL/DND
TTU=TU/DND
CALL PLOT(TTL,PK,2)
CALL PLOT(TTU,PK,1)
CALL PLOT(TTU,-0.1,1)
XA=TTU-0.3
CALL NUMBER(XA,-0.4,0.21,TU,0.0,1)
CALL PLOT(TTU,Z,3)
GO TO 10
13 IF(II.EQ.0) GO TO 16
CALL PLOT(Z,Z,2)
DO 200 J=1,10
Y=J
CALL PLOT(Z,Y,3)
CALL PLOT(-0.1,Y,2)
YA=Y-0.1
Y=Y*0.1
CALL NUMBER(-0.8,YA,0.21,Y,0.0,1)
200 CONTINUE
CALL PLOT(Z,Z,3)
CALL PLOT(Z,10.0,2)
CALL PLOT(Z,Z,3)
DDH=0.0
DD=0.0
17 DD=DD+0.5*DND
DDH=DDH+0.5
IF(DD.GT.DU) GO TO 18
PC=20.0*DD*DND*EXP(-DD**2/XMS)/XMS
CALL PLOT(DDH,PC,2)
GO TO 17
18 CALL PLOT(Z,13.0,-3)
16 WRITE(6,2014) I
2014 FORMAT(1H0,17X,3HN =,I3)
WRITE(6,2004) XMEAN
2004 FORMAT(1H0,15X,5HMEAN=,E15.7)
WRITE(6,2005) XM3
2005 FORMAT(1H ,2X,18H(1/3)HIGHEST MEAN=,E15.7)

```

```

      WRITE(6,2006) XM10
2006 FORMAT(1H ,1X,19H(1/10)HIGHEST MEAN=,E15.7)
      WRITE(6,2007) XRMS
2007 FORMAT(1H ,10X,10HRMS VALUE=,E15.7)
      WRITE(6,2008) X(I)
2008 FORMAT(1H ,6X,14HMAXIMUM VALUE=,E15.7)
      AA=SQRT(XVAR)/XMEAN
      WRITE(6,2009) AA
2009 FORMAT(1H0,2X,18HS.DEVIATION/MEAN =,E15.7)
      AA=XRMS/XMEAN
      WRITE(6,2010) AA
2010 FORMAT(1H ,10X,10HRMS/MEAN =,E15.7)
      AA=XM3/XMEAN
      WRITE(6,2011) AA
2011 FORMAT(1H ,4X,16H(1/3)MEAN/MEAN =,E15.7)
      AA=XM10/XMEAN
      WRITE(6,2012) AA
2012 FORMAT(1H ,3X,17H(1/10)MEAN/MEAN =,E15.7)
      AA=X(I)/XMEAN
      WRITE(6,2013) AA
2013 FORMAT(1H ,10X,10HMAX/MEAN =,E15.7)
      IF(II.EQ.0) GO TO 14
C      CALCOMP 1
      WIDTH=FLOAT(I)*0.2
      DO 201 J=1,I
      K=I-J+1
      YY(J)=X(K)
      XX(J)=J
201   CONTINUE
      CALL SCALE(XX,WIDTH,I,1)
      CALL SCALE(YY,10.0,I,1)
      CALL LINE(XX,YY,I,1,-1,3)
      CALL AXIS(0.0,0.0,5HTIMES,-5,WIDTH,0.0,XX(I+1),XX(I+2))
      CALL AXIS(0.0,0.0,9HAMPLITUDE,9,10.0,90.0,YY(I+1),YY(I+2))
      CALL PLOT(20.0,-6.0,-3)
      CALL PLOTV
14   RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE GAUS(X,I,NAME,ND)
COMMON XVAR
DOUBLE LENGTH INTEGER NAME
DIMENSION X(200)
C ***** TREKAE *****
N=0
2 N=N+1
XMAX=-100000.0
IF(N.EQ.1) GO TO 1
NN=I-N+1
J=0
3 J=J+1
IF(J.GT.NN) GO TO 5
IF(X(J).GT.XMAX) GO TO 4
GO TO 3
4 XMAX=X(J)
JJ=J
GO TO 3
5 X(NN+1)=XMAX
DO 100 J=JJ,NN-1
100 X(J)=X(J+1)
GO TO 2
C ***** MEAN,VARIANCE *****
1 XMEAN=0.0
DO 101 J=1,I
X(J)=X(J+1)
XMEAN=XMEAN+X(J)
101 CONTINUE
XMEAN=XMEAN/FLOAT(I)
XM3=0.0
I3=1/3
I10=1/10
J=0
6 J=J+1
IF(J.EQ.I10) XM10=XM3/FLOAT(I10)
IF(J.GT.I3) GO TO 7
K=I-J+1
XM3=XM3+X(K)
GO TO 6
7 XM3=XM3/FLOAT(I3)
XVAR=0.0
DO 102 J=1,I
102 XVAR=XVAR+(X(J)-XMEAN)**2
XVAR=XVAR/FLOAT(I)
XDEV=SQR(XVAR)
C ***** NORMALIZING *****
DO 103 J=1,I
103 X(J)=(X(J)-XMEAN)/XDEV
C ***** BUNHU *****
DND=(X(1)-X(1))/FLOAT(ND)
WRITE(6,2001) NAME
2001 FORMAT(1H1,40HPROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF ,2A5)
WRITE(6,2002)
2002 FORMAT(1H0,15X,BHLOWER(=),15X,BHUPPER,2X,7HDENSITY,1X,7HPARCENT,7X
*,1H*,5X,18HCUMULATIVE DENSITY,5X,7HPARCENT)
J=0
JJ=0
TU=X(1)-0.5*DND

```

```

10 JJ=JJ+1
    IF(JJ.GT.ND+1) GO TO 13
    TL=10
    TU=TL+DND
    K=0
11 J=J+1
    IF(J.GT.I) GO TO 12
    IF(X(J).GE.TU) GO TO 12
    K=K+1
    GO TO 11
12 J=J-1
    PK=FLOAT(K)*100.0/FLOAT(I)
    PJ=FLOAT(J)*100.0/FLOAT(I)
    WRITE(6,2003) JJ,TL,TU,K,PK,TU,J,PJ
2003 FORMAT(1H ,I3,5X,E15.7,5X,E15.7,5X,I4,1H(,F7.3,1H),6X,1H*,3X,E15.7
*,5X,I4,1H(,F7.3,1H))
    GO TO 10
13 WRITE(6,2004) XMEAN,XM3,XM10,XVAR,XDEV
2004 FORMAT(1H0,5HMEAN=,E15.7,18X,10HMEAN(1/3)=,E15.7,10X,10HMEAN(1/10)
*,E15.//1H ,9HVARIANCE=,E15.7,15X,19HSTANDARD DEVIATION=,E15.7///)
    WRITE(6,2005)(X(J),J=1,I)
2005 FORMAT(1H ,10F10.4)
    RETURN
    END

```

3.3.4 入力データならびに解析結果

\$	DATA										
0.5	0.25										
EXP. NO. 23	ROLL	DEG									
4	0.135	0.135	1.0								
1	1.200	0.1047	1.204								
134	135	131	129	129	133	139	146	151	158		
159	154	157	151	143	134	140	141	144		2	
141	137	134	120	129	129	132	143	147	156		3
159	155	151	153	151	146	146	143	142	140		4
141	139	142	145	152	152	155	156	151	150		5
148	144	141	139	139	139	144	141	149	151		6
158	159	160	159	159	156	156	153	146	144		7
143	145	147	149	152	158	162	161	158	159		8
158	158	161	160	156	147	143	144	145	144		9
145	148	151	151	152	153	152	152	148	151		10
150	152	156	157	156	159	160	159	155	147		11
141	144	144	139	148	152	155	162	164	168		12
169	167	162	163	163	155	150	143	142	141		13
144	146	145	147	152	148	147	147	146	148		14
148	146	143	143	142	147	155	161	164	165		15
158	149	142	138	136	135	135	140	146	148		16
155	164	163	163	165	162	164	159	152	147		17
144	143	139	139	137	142	142	144	141	138		18
138	142	148	153	159	166	168	168	165	158		19
153	146	143	137	140	140	140	141	145	145		20
145	147	152	157	160	163	165	164	158	153		21
147	142	134	120	127	131	134	139	146	157		22
160	166	165	164	158	151	147	142	139	141		23
139	139	138	139	141	143	145	147	153	155		24
158	160	156	146	137	133	133	134	141	143		25
147	151	147	148	149	150	152	150	145	147		26
142	143	147	148	148	143	142	140	136	141		27
138	141	143	149	151	152	149	142	132	121		28
120	119	127	134	144	153	159	159	159	158		29
159	160	154	147	142	142	139	136	136	137		30
138	142	148	155	156	157	155	158	153	152		31
147	147	147	143	144	143	145	143	146	146		32
146	147	144	147	149	155	161	162	160	158		33
153	147	140	136	134	128	131	131	140	148		34
155	160	162	163	162	160	157	156	150	146		35
141	137	132	130	131	137	143	149	150	149		36
156	151	150	146	150	153	155	155	151	148		37
142	141	140	141	140	143	147	149	154	155		38
151	152	153	152	149	150	147	148	144	141		39
141	133	134	135	142	151	157	161	165	166		40
163	165	168	165	165	160	151	143	140	140		41
139	144	148	154	161	164	167	171	166	154		42
140	131	135	134	138	148	151	154	160	159		43
162	165	162	169	165	164	154	146	143	141		44
144	145	147	145	143	145	152	153	157	155		45
153	154	155	150	151	150	154	157	157	152		46
150	152	153	151	147	149	150	148	148	148		47
148	150	156	165	172	176	180	174	165	159		48
144	139	139	136	140	144	147	144	142	145		49
150	155	159	166	166	157	143	140	143	144		50
148	153	156	164	159	160	155	155	155	155		51
155	153	155	152	149	147	139	137	136	139		52
145	144	153	166	174	179	176	174	166	164		53
155	146	142	136	137	141	146	152	153	156		54
154	149	149	145	148	153	156	155	154	150		55
151	151	152	150	147	148	151	150	151	153		56
156	156	158	156	149	143	142	139	138	138		57
142	148	155	161	157	160	167	164	165	161		58
162	153	151	145	144	139	139	144	147	152		59
154	158	159	156	156	152	148	144	139	138		60
143	150	150	157	161	160	162	159	153	150		61
144	138	136	137	144	147	157	161	167	173		62
173	171	167	156	152	144	143	142	144	147		63
153	159	161	163	165	161	158	153	149	152		64
151	154	154	158	156	156	161	159	163	164		65
163	167	167	166	174	174	169	166	158			66
140	135	133	137	145	150	159	165	168	169		67
169	167	166	170	168	166	164	163	161	158		68
159	169	169	168	167	159	150	142	139	133		69
133	132	133	132	137	139	151	154	163	171		70
175	179	180	179	170	161	148	148	146	138		71
135	130	129	129	130	141	157	170	178	187		72
189	188	185	173	159	145	137	130	127	131		73
129	134	142	152	167	171	173	168	166	169		74
163	160	166	163	162	159	150	147	151	149		75
152	156	156	152	148	153	157	161	161	159		76
159	157	154	150	149	148	151	151	150	150		77
149	149	146	149	156	157	160	163	167	166		78
170	169	167	164	155	155	156	154	158	163		79
165	169	168	170	163	160	156	152	147	143		80
142	146	149	156	157	158	156	150	149	143		81
139	137	142	143	148	147	152	152	153	162		82
163	162	160	154	149	149	148	151	153	161		83
160	158	159	155	158	160	159	166	169	170		84
170	165	159	151	146	141	137	142	143	141		85
142	144	150	152	159	169	175	175	174	178		86
172	175	168	162	153	144	137	132	133	136		87
143	149	156	163	166	167	172	173	172	167		88
161	155	150	147	140	143	139	142	147	151		89
154	159	164	171	173	170	164	160	151	149		90
143	143	143	142	148	149	153	157	165	170		91
172	175	166	161	161	155	153	152	150	149		92
147	149	149	146	146	152	155	157	161	168		93
173	174	174	172	163	150	139	135	132	130		94

137	142	150	159	167	170	170	167	166	161	95
161	161	160	155	155	151	150	147	145	143	96
144	149	154	155	156	154	151	150	152	147	97
147	149	151	149	149	147	147	149	148	150	98
153	156	157	164	170	174	177	174	163	158	99
147	137	133	133	134	142	145	148	153	158	100
160	163	155	151	147	149	152	155	165	175	101
181	176	169	156	143	137	136	137	144	148	102
148	142	139	135	135	135	139	147	149	153	103
155	157	162	159	159	157	162	169	172	168	104
163	157	145	135	128	123	127	139	154	167	105
175	179	179	179	176	176	170	165	156	150	106
143	133	129	124	130	134	146	158	167	176	107
179	180	179	177	177	166	163	159	157	150	108
148	148	150	151	150	153	155	160	165	167	109
165	160	159	157	152	149	148	147	149	145	110
149	156	163	168	160	169	170	162	154	145	111
139	130	128	125	129	137	146	157	167	170	112
169	168	161	155	152	147	145	141	147	148	113
153	156	154	157	159	155	153	156	159	161	114
160	158	156	157	157	157	151	150	147	146	115
144	142	146	147	148	148	150	147	147	147	116
141	140	142	144	152	161	167	168	166	161	117
152	150	144	143	141	137	137	136	143	148	118
159	172	171	177	180	181	177	167	156	140	119
127	117	117	111	117	116	125	136	151	160	120

\$ DATA
 11
 1 20
 0.5 0.25
 EXP. NO. 23 ROLL DEG
 0.135 1.0
 40.0 2.0
 12.0 1.0
 1200

POWER SPECTRUM AND CORRELOGRAM

EXP.NO.23 ROLL
 SAMPLING TIME = 1.000 SEC
 NUMBER OF DATA=1200
 NUMBER OF LAG = 120
 Q-WINDOW =
 VARIANCE(FR(0)) = 0.2318544E+01 (DEG**2)

C,FREQUENCY (RAD/SEC)	FREQUENCY (1/SEC)	T.PERIOD (SEC)	SPECTRUM (DEG**2/SEC)	SPECTRUM (1/INDU)	TAU(LAG TIME) (SEC)	CORRELOGRAM
0.0000000E-40	0.0000000E-40	INFINITE	0.5612417E+01	0.4255003E+01	0.0000000E+00	0.1.00000E+01
0.2617994E-01	0.4166666E-02	0.2400000E+03	0.1495974E+01	0.2285866E+01	0.1000000E+01	0.9341272E+00
0.5235987E-01	0.8333333E-02	0.1200000E+03	0.4534403E+00	0.4461728E+00	0.2000000E+01	0.7449771E+00
0.7853980E-01	0.1250000E-01	0.8000002E+02	0.5750595E+00	0.3572733E+00	0.3000000E+01	0.5232000E+00
0.1047197E+00	0.1666667E-01	0.6000004E+02	0.7235533E+00	0.3147008E+00	0.4000000E+01	0.384226E+00
0.1308997E+00	0.2083333E-01	0.4800001E+02	0.7876562E+00	0.5574241E+00	0.5000000E+01	0.412604E-01
0.1570796E+00	0.2499999E-01	0.4000001E+02	0.5243214E+00	0.7101686E+00	0.6000000E+01	0.2679171E+00
0.1832595E+00	0.2916666E-01	0.3425752E+02	0.9142016E+00	0.7094517E+00	0.7000000E+01	0.645933E+00
0.2094395E+00	0.3333333E-01	0.3000000E+02	0.4996951E+00	0.4995546E+00	0.8000000E+01	0.4753542E+00
0.2356194E+00	0.3750000E-01	0.2666667E+02	0.1254032E+01	0.1122716E+01	0.9000000E+01	0.4715941E+00
0.2617993E+00	0.4166666E-01	0.2400000E+02	0.1994369E+01	0.223353E+01	0.1000000E+02	0.4179911E+00
0.2879793E+00	0.4583333E-01	0.211618E+02	0.1674964E+01	0.314713E+01	0.1100000E+02	0.2430876E+00
0.3141592E+00	0.4999999E-01	0.2000000E+02	0.3229011E+01	0.3929578E+01	0.1200000E+02	0.1527014E+00
0.3403392E+00	0.5416666E-01	0.1844154E+02	0.634105E+01	0.1616324E+01	0.1300000E+02	0.1348626E+00
0.3665191E+00	0.5833333E-01	0.1714286E+02	0.7166236E+01	0.6644255E+01	0.1400000E+02	0.1475172E+00
0.3924991E+00	0.6250000E-01	0.1600000E+02	0.3410464E+01	0.3494719E+01	0.1500000E+02	0.1470427E+00
0.4388790E+00	0.6666666E-01	0.1500000E+02	0.1625415E+01	0.1561755E+01	0.1600000E+02	0.3981072E+00
0.4450559E+00	0.7083333E-01	0.1417165E+02	0.1021124E+01	0.1224417E+01	0.1700000E+02	0.4217071E+00
0.4712389E+00	0.7500000E-01	0.1353333E+02	0.1817568E+01	0.1481132E+01	0.1800000E+02	0.4120000E+00
0.4974188E+00	0.7916666E-01	0.1263158E+02	0.4525178E+00	0.1627119E+01	0.1900000E+02	0.4151057E+00
0.5235597E+00	0.8333331E-01	0.1210000E+02	0.584028TE+00	0.5481122E+00	0.2000000E+02	0.3818140E+00
0.5497787E+00	0.8749999E-01	0.1142657E+02	0.5242061E+00	0.5631313E+00	0.2100000E+02	0.2135936E+00
0.5759586E+00	0.9166666E-01	0.1089190E+02	0.4245091E+00	0.5174719E+00	0.2200000E+02	0.1727096E+00
0.6021385E+00	0.9583332E-01	0.1043477E+02	0.1863077E+00	0.3111919E+00	0.2300000E+02	0.5374094E+00
0.6282138E+00	0.9999998E-01	0.1000000E+02	0.3802577E+00	0.3165213E+00	0.2400000E+02	0.1856693E+00
0.6544983E+00	0.1041666E-01	0.9600002E+01	0.3147441E+00	0.3087272E+00	0.2500000E+02	0.1199191E+00
0.6806784E+00	0.1083333E-01	0.9230770E+01	0.1554239E+00	0.1815154E+00	0.2600000E+02	0.1410408E+00
0.7048563E+00	0.1125000E-01	0.8888889E+01	0.1676434E+00	0.1665224E+00	0.2700000E+02	0.1545426E+00
0.7330382E+00	0.1166666E-01	0.8574143E+01	0.1862024E+00	0.1534723E+00	0.2800000E+02	0.1648474E+00
0.7592181E+00	0.1217333E-01	0.8275664E+01	0.4788636E-01	0.1684774E+01	0.2900000E+02	0.1767747E+00
0.7853981E+00	0.1250000E-01	0.8000000E+01	0.9592244E+00	0.7231919E+00	0.3000000E+02	0.4474770E-01
0.8115780E+00	0.1291617E-01	0.7741193E+01	0.7808404E+00	0.8430015E+01	0.3100000E+02	0.2616595E+00
0.8377579E+00	0.1333333E-01	0.7500001E+01	0.4834464E+00	0.5705000E+01	0.3200000E+02	0.1764517E+00
0.8639379E+00	0.1375000E-01	0.727272E+01	0.1041516E+01	0.2844139E+01	0.3300000E+02	0.1496438E+00
0.8901178E+00	0.1416667E-01	0.7050825E+01	0.4516749E+01	0.3008873E+01	0.3400000E+02	0.1636374E+00
0.9162978E+00	0.1458333E-01	0.6857143E+01	0.1863935E+01	0.2891404E+01	0.3500000E+02	0.1768474E+00
0.9424777E+00	0.1500000E-01	0.6666667E+01	0.2997274E+01	0.2191645E+01	0.3600000E+02	0.1853021E+00
0.9686576E+00	0.1541666E-01	0.6448487E+01	0.4233461E+02	0.1602735E+01	0.3700000E+02	0.1931140E+00
0.9948375E+00	0.1583333E-01	0.6131579E+01	0.2339490E+01	0.1201002E+01	0.3800000E+02	0.1910419E+00
0.1021018E+01	0.1625000E-01	0.5815640E+01	-0.5785137E-02	0.6499498E+02	0.3900000E+02	0.3610477E+00
0.1047197E+01	0.1666666E-01	0.5400001E+01	0.2129229E+01	0.9811159E+02	0.4000000E+02	0.4196070E+00
0.1073377E+01	0.1708333E-01	0.5056595E+01	0.2462003E+02	0.13630015E+02	0.4100000E+02	0.4310000E+00
0.1099557E+01	0.1750000E-01	0.4714286E+01	0.2967812E+01	0.1525121E+02	0.4200000E+02	0.4016440E+00
0.1125737E+01	0.1791666E-01	0.4351396E+01	-0.1925744E+02	0.1747448E+02	0.4300000E+02	0.3171201E+00
0.1151917E+01	0.1833333E-01	0.4054546E+01	0.1451249E+02	0.8557478E+02	0.4400000E+02	0.2311440E+00
0.1178797E+01	0.1875000E-01	0.3533334E+01	0.1161571E+01	0.1722949E+01	0.4500000E+02	0.1151044E+00
0.1204277E+01	0.1916666E-01	0.3217392E+01	0.2395121E+01	0.1471007E+01	0.4600000E+02	0.2760774E+00
0.1233045E+01	0.1958333E-01	0.3106358E+01	-0.7150401E+02	0.4791197E+02	0.4700000E+02	0.1646070E+00
0.1256637E+01	0.2000000E-01	0.3000001E+01	0.1383415E+01	0.3194443E+02	0.4800000E+02	0.1594944E+00
0.1282817E+01	0.2041667E-01	0.2824962E+01	0.4892961E+01	0.3701521E+02	0.4900000E+02	0.1674705E+00
0.1308997E+01	0.2083333E-01	0.2680001E+01	0.1562931E+01	0.5299469E+02	0.5000000E+02	0.1848835E+00
0.1335177E+01	0.2125000E-01	0.2471588E+01	-0.5920354E+02	0.4941127E+02	0.5100000E+02	0.1971144E+00
0.1361357E+01	0.2166666E-01	0.2415385E+01	0.1520351E+01	0.5246446E+02	0.5200000E+02	0.1799177E+00
0.1387537E+01	0.2208333E-01	0.2452302E+01	-0.4504773E+02	0.4177979E+02	0.5300000E+02	0.1737056E+00
0.1413717E+01	0.2250000E-01	0.2444444E+01	0.1269011E+01	0.5277274E+02	0.5400000E+02	0.1466059E+00
0.1446607E+01	0.2291667E-01	0.2333333E+01	-0.9126769E+03	0.5611538E+02	0.5500000E+02	0.1371027E+00
0.1466756E+01	0.2375000E-01	0.2421126E+01	-0.5960794E+02	0.1237242E+02	0.5600000E+02	0.1323512E+00
0.1518436E+01	0.2416666E-01	0.2413792E+01	-0.9292944E+02	0.2639751E+02	0.5700000E+02	0.1395175E+00
0.1544116E+01	0.2458333E-01	0.2407197E+01	-0.3215147E+02	0.3051457E+02	0.5800000E+02	0.1444247E+00
0.1570796E+01	0.2500000E-01	0.2400001E+01	0.9258167E+00	0.2925604E+02	0.5900000E+02	0.1515151E+00
0.1596976E+01	0.2541333E-01	0.2394427E+01	-0.5127057E+02	0.1771275E+02	0.6000000E+02	0.1646105E+00
0.1623151E+01	0.2583333E-01	0.2379166E+01	0.3436536E+01	0.4921167E+02	0.6100000E+02	0.1748100E+00
0.1649336E+01	0.2625000E-01	0.2384524E+01	0.3485252E+01	0.3499524E+02	0.6200000E+02	0.1744940E+00
0.1675516E+01	0.2675000E-01	0.2375000E+01	-0.5960794E+02	0.1237242E+02	0.6300000E+02	0.1621321E+00
0.1716968E+01	0.2718333E-01	0.2369235E+01	0.4293242E+01	0.2639751E+02	0.6400000E+02	0.1659575E+00
0.1727876E+01	0.2750000E-01	0.2363364E+01	0.4649567E+01	0.1495843E+02	0.6500000E+02	0.1779417E+00
0.1754056E+01	0.2791666E-01	0.2359209E+01	-0.3521917E+02	0.299266E+02	0.6600000E+02	0.1770512E+00
0.1780236E+01	0.2823333E-01	0.2352941E+01	0.4926165E+01	0.1931140E+02	0.6800000E+02	0.1680712E+00
0.1808641E+01	0.2875000E-01	0.2347426E+01	-0.4322779E+02	0.7515220E+02	0.6900000E+02	0.1646100E+00
0.1832596E+01	0.2916666E-01	0.2342572E+01	0.4911314E+01	0.5277274E+02	0.7000000E+02	0.1604000E+00
0.1857757E+01	0.2958333E-01	0.2339085E+01	-0.3179085E+02	0.1177711E+02	0.7100000E+02	0.1511447E+00
0.1884955E+01	0.3000000E-01	0.2333333E+01	0.4932324E+01	0.1111149E+02	0.7200000E+02	0.1678194E+00
0.1913115E+01	0.3041666E-01	0.2324724E+01	-0.5093141E+02	0.1175744E+02	0.7300000E+02	0.1590104E+00
0.1943731E+01	0.3083333E-01	0.2324344E+01	0.5751414E+01	0.9475514E+02	0.7400000E+02	0.1470104E+00
0.1964349E+01	0.3125000E-01	0.2312000E+01	-0.3554515E+02	0.8425453E+02	0.7500000E+02	0.1511332E+00
0.1996975E+01	0.3166666E-01	0.2317695E+01	0.5028249E+01	0.8242332E+02	0.7600000E+02	0.1477701E+00
0.2015855E+01	0.3208333E-01	0.2311848E+01	-0.3742424E+02	0.4393217E+02	0.7700000E+02	0.1511313E+00
0.2042035E+01	0.3250000E-01	0.2307492E+01	0.4932164E+01	0.7491616E+02	0.7800000E+02	0.1511314E+00
0.2082151E+01	0.3291667E-01	0.2303797E+01	-0.1842297E+02	0.3010578E+02	0.7900000E+02	0.1511446E+00
0.2094795E+01	0.3333333E-01	0.2300000E+01	0.4755949E+01	0.7191272E+02	0.8000000E+02	0.1511313E+00
0.2122575E+01	0.3375000E-01	0.2299635E+01	-0.3507084E+02	0.3952911E+02	0.8100000E+02	0.1511313E+00
0.2146755E+01	0					

INPUT DATA EXC. NO. 23 WIND TIME SERIES

EXP.NO.23 ROLL

STATISTICAL VALUES 1.

SPECTRUM MOMENT

INTEGRAL AREA OMEGA-0= 0.1047197E+00
 OMEGA-N= 0.1204277E+01

M0 = 0.1016153E+01

M2 = 0.1510676E+00

M4 = 0.3603039E-01

E = 0.6138656E+00

T-0= 0.1629573E+02

T-M= 0.1286402E+02

(NOTE)

$$E^{*2} = (M_0 * M_4 - M_2^{*2}) / (M_0 * M_4)$$

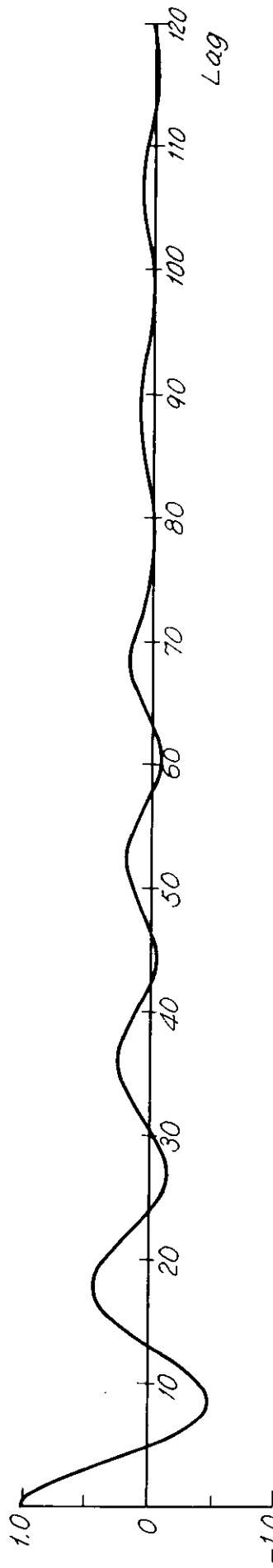
T-0=MEAN PERIOD DUE TO 0-CROSS

$$(2\pi * \sqrt{M_0 / M_2})$$

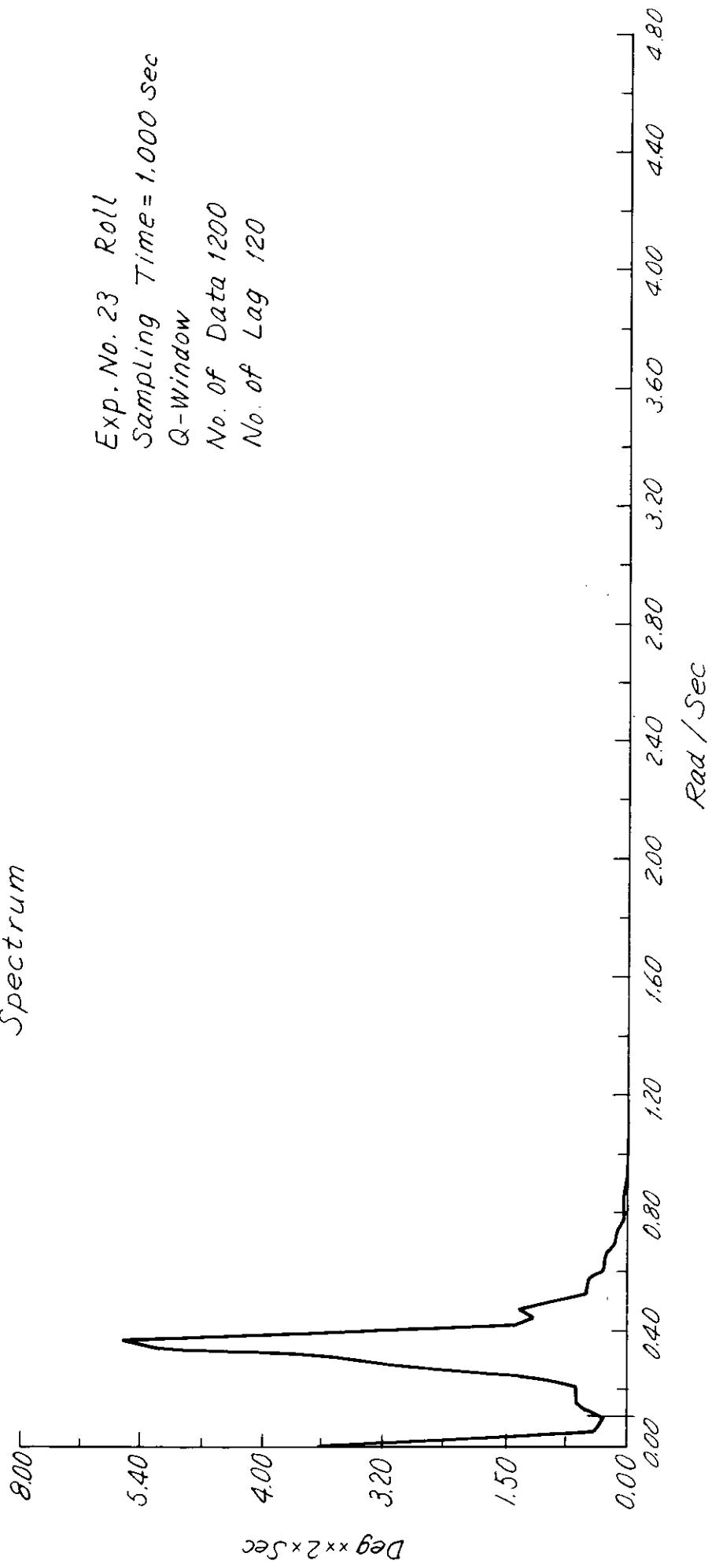
T-M=MEAN PERIOD DUE TO PEAK TO PEAK

$$(2\pi * \sqrt{M_2 / M_4})$$

Correlogram



Spectrum



PROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF ELEVATION (B.P. 23 ROLL)

	LOWER(=)	UPPER	DENSITY	PERCENT		CUMULATIVE DENSITY	PERCENT
1	-0.340395E+01	-0.304025E+01	3(0.250)	•	-0.388725E+01	3(0.250)	
2	-0.308125E+01	-0.275654E+01	3(0.250)	•	-0.275654E+01	6(0.500)	
3	-0.275654E+01	-0.243284E+01	2(0.167)	•	-0.243284E+01	6(0.667)	
4	-0.243284E+01	-0.21n0134E+01	7(0.500)	•	-0.21n0134E+01	15(1.250)	
5	-0.21n0134E+01	-0.174522E+01	24(2.000)	•	-0.174522E+01	39(3.250)	
6	-0.174522E+01	-0.144172E+01	48(3.333)	•	-0.144172E+01	79(5.500)	
7	-0.146172E+01	-0.111801E+01	57(4.750)	•	-0.111801E+01	136(11.333)	
8	-0.113n01E+01	-0.814309E+00	111(9.250)	•	-0.814309E+00	247(20.583)	
9	-0.814309E+00	-0.49n693E+00	133(11.000)	•	-0.49n693E+00	380(31.667)	
10	-0.49n693E+00	-0.144887E+00	162(13.500)	•	-0.144887E+00	542(45.167)	
11	-0.164887E+00	0.1254n97E+00	150(12.500)	•	0.1254n97E+00	692(57.667)	
12	0.1254n97E+00	0.44n5154E+00	156(11.333)	•	0.44n5154E+00	824(69.000)	
13	0.44n5154E+00	0.804221E+00	122(10.167)	•	0.804221E+00	958(79.167)	
14	0.804221E+00	0.112792E+01	89(7.417)	•	0.112792E+01	1039(86.583)	
15	0.112792E+01	0.149163E+01	64(5.333)	•	0.149163E+01	1103(91.917)	
16	0.149163E+01	0.177534E+01	43(3.500)	•	0.177534E+01	1146(95.500)	
17	0.177534E+01	0.209964E+01	26(2.167)	•	0.209964E+01	1172(97.667)	
18	0.209964E+01	0.242277E+01	20(1.667)	•	0.242277E+01	1192(99.333)	
19	0.242277E+01	0.274664E+01	5(0.417)	•	0.274664E+01	1197(99.750)	
20	0.274664E+01	0.307016E+01	1(0.000)	•	0.307016E+01	1198(99.833)	
21	0.307016E+01	0.337037E+01	2(0.167)	•	0.337037E+01	1200(100.000)	

MEAN = 0.1377662E-03

MEAN(1/3) = 0.1686905E+01

MEAN(1/10) = 0.2722337E+01

VARIANCE = 0.2317134E+01

STANDARD DEVIATION = 0.1522213E+01

-3.7421	-3.2421	-3.2190	-2.9519	-2.8652	-2.8208	-2.7100	-2.5104	-2.1952	-2.3331
-2.7224	-2.2222	-2.2222	-2.1135	-2.1135	-2.0670	-2.0448	-2.0448	-2.0448	-2.0227
-2.0065	-2.0065	-2.0065	-1.9743	-1.9743	-1.9743	-1.9561	-1.9340	-1.9340	-1.9118
-1.9118	-1.9118	-1.8479	-1.8479	-1.8475	-1.8475	-1.8453	-1.8453	-1.8453	-1.7758
-1.7758	-1.7344	-1.7344	-1.7123	-1.7123	-1.7123	-1.7123	-1.7123	-1.7123	-1.6679
-1.6679	-1.6457	-1.6457	-1.6236	-1.6236	-1.6236	-1.6236	-1.6236	-1.6236	-1.6014
-1.6014	-1.5792	-1.5792	-1.5792	-1.5571	-1.5349	-1.5349	-1.5349	-1.5349	-1.5349
-1.5349	-1.5127	-1.5127	-1.4905	-1.4905	-1.4684	-1.4684	-1.4684	-1.4684	-1.4462
-1.4462	-1.4240	-1.4240	-1.4019	-1.4019	-1.4019	-1.4019	-1.3797	-1.3797	-1.3797
-1.3797	-1.3575	-1.3575	-1.3575	-1.3575	-1.3575	-1.3575	-1.3353	-1.3353	-1.3353
-1.3353	-1.3132	-1.3132	-1.3132	-1.3132	-1.2910	-1.2910	-1.2910	-1.2910	-1.2688
-1.2688	-1.2447	-1.2447	-1.2245	-1.2245	-1.2245	-1.2245	-1.2023	-1.2023	-1.2023
-1.2023	-1.2023	-1.2023	-1.1801	-1.1801	-1.1801	-1.1801	-1.1801	-1.1801	-1.1560
-1.1560	-1.1560	-1.1560	-1.1560	-1.1560	-1.1560	-1.1560	-1.1358	-1.1358	-1.1358
-1.1358	-1.1358	-1.1358	-1.1136	-1.1136	-1.1136	-1.1136	-1.1136	-1.1136	-1.0915
-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0915	-1.0693
-1.0693	-1.0693	-1.0693	-1.0471	-1.0471	-1.0471	-1.0471	-1.0471	-1.0471	-1.0249
-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0249	-1.0028
-1.0028	-1.0028	-1.0028	-1.0028	-1.0028	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806
-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9806	-0.9584	-0.9584	-0.9584
-0.9584	-0.9343	-0.9343	-0.9343	-0.9343	-0.9363	-0.9363	-0.9363	-0.9363	-0.9363
-0.9363	-0.9141	-0.9141	-0.9141	-0.9141	-0.8919	-0.8919	-0.8919	-0.8919	-0.8919
-0.8919	-0.8497	-0.8497	-0.8497	-0.8497	-0.8476	-0.8476	-0.8476	-0.8476	-0.8476
-0.8476	-0.8476	-0.8476	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254
-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8254	-0.8032
-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032	-0.8032
-0.8031	-0.7811	-0.7811	-0.7811	-0.7811	-0.7589	-0.7589	-0.7589	-0.7589	-0.7589
-0.7589	-0.7589	-0.7589	-0.7589	-0.7589	-0.7367	-0.7367	-0.7367	-0.7367	-0.7367
-0.7367	-0.7367	-0.7367	-0.7367	-0.7367	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145
-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.7145	-0.6924
-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6924	-0.6702
-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6702	-0.6489
-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6489	-0.6037
-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.6037	-0.4041
-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.4041	-0.3826
-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3826	-0.3620
-0.3620	-0.3620	-0.3620	-0.3620	-0.3620	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598
-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3598	-0.3376
-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376
-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3376	-0.3154
-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.3154	-0.2933
-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933	-0.2933
-0.2933	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2711	-0.2489
-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489	-0.2489
-0.2489	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268	-0.2268
-0.2268	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046	-0.2046
-0.2046	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824	-0.1824
-0.1824	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624	-0.1624
-0.1624	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381
-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1381	-0.1159
-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.1159	-0.0937
-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0937	-0.0716
-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716	-0.0716
-0.0716	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494
-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494	-0.0494
-0.0494	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0050	-0.0171
-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171	-0.0171
-0.0171	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103	-0.0103
-0.0103	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0103
-0.0103	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0103
-0.0103	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0103
-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0103
-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.0103
-0.0015	-0.0015	-0.0015	-0.00						

ROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF T,0-CROSS1

	LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENCT		CUMULATIVE DENSITY	PARENCT
1	0.000000E+00	0.200000E+01	0(0.000)	*	0.200000E+01	0(0.000)	
2	0.200000E+01	0.400000E+01	0(0.000)	*	0.400000E+01	0(0.000)	
3	0.400000E+01	0.400000E+01	3(4.412)	*	0.600000E+01	3(4.412)	
4	0.600000E+01	0.800000E+01	2(2.941)	*	0.800000E+01	5(7.353)	
5	0.800000E+01	0.100000E+02	2(2.941)	*	0.100000E+02	7(10.294)	
6	0.100000E+02	0.120000E+02	4(5.882)	*	0.120000E+02	11(16.174)	
7	0.120000E+02	0.140000E+02	8(11.765)	*	0.140000E+02	19(27.944)	
8	0.140000E+02	0.160000E+02	9(13.235)	*	0.160000E+02	28(41.174)	
9	0.160000E+02	0.180000E+02	14(0.561)	*	0.180000E+02	42(41.764)	
10	0.180000E+02	0.200000E+02	12(17.647)	*	0.200000E+02	54(79.412)	
11	0.200000E+02	0.220000E+02	5(7.353)	*	0.220000E+02	59(86.769)	
12	0.220000E+02	0.240000E+02	2(2.941)	*	0.240000E+02	61(89.704)	
13	0.240000E+02	0.260000E+02	2(2.941)	*	0.260000E+02	63(92.647)	
14	0.260000E+02	0.280000E+02	0(0.000)	*	0.280000E+02	63(92.647)	
15	0.280000E+02	0.300000E+02	1(1.471)	*	0.300000E+02	64(94.118)	
16	0.300000E+02	0.320000E+02	2(2.941)	*	0.320000E+02	66(97.059)	
17	0.320000E+02	0.340000E+02	0(0.000)	*	0.340000E+02	66(97.059)	
18	0.340000E+02	0.360000E+02	1(1.471)	*	0.360000E+02	67(98.529)	
19	0.360000E+02	0.380000E+02	0(0.000)	*	0.380000E+02	67(98.529)	
20	0.380000E+02	0.400000E+02	0(0.000)	*	0.400000E+02	67(98.529)	

N = 68

MEAN = 0.172230RE+02
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.239419E+02
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.320667E+02
 RMS VALUE = 0.185176RE+02
 MAXIMUM VALUE = 0.4699K28E+02

S.D./DEVIATION/MEAN = 0.883K21RE-01
 RMS/MEAN = 0.1075167E+01
 (1/3)MEAN/MEAN = 0.139126RE+01
 (1/10)MEAN/MEAN = 0.1910540E+01
 MAX/MEAN = 0.272K66RE+01

ROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF T,0-CROSS2

	LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENCT		CUMULATIVE DENSITY	PARENCT
1	0.000000E+00	0.200000E+01	0(0.000)	*	0.200000E+01	0(0.000)	
2	0.200000E+01	0.400000E+01	1(1.471)	*	0.400000E+01	1(1.471)	
3	0.400000E+01	0.600000E+01	0(0.000)	*	0.600000E+01	1(1.471)	
4	0.600000E+01	0.800000E+01	3(4.412)	*	0.800000E+01	4(5.662)	
5	0.800000E+01	0.100000E+02	3(4.412)	*	0.100000E+02	7(10.294)	
6	0.100000E+02	0.120000E+02	5(7.353)	*	0.120000E+02	12(17.647)	
7	0.120000E+02	0.140000E+02	6(8.824)	*	0.140000E+02	18(26.471)	
8	0.140000E+02	0.160000E+02	9(13.235)	*	0.160000E+02	27(39.706)	
9	0.160000E+02	0.180000E+02	17(25.000)	*	0.180000E+02	44(44.704)	
10	0.180000E+02	0.200000E+02	6(8.824)	*	0.200000E+02	50(73.520)	
11	0.200000E+02	0.220000E+02	9(13.235)	*	0.220000E+02	59(86.769)	
12	0.220000E+02	0.240000E+02	3(4.412)	*	0.240000E+02	62(91.176)	
13	0.240000E+02	0.260000E+02	2(2.941)	*	0.260000E+02	64(94.118)	
14	0.260000E+02	0.280000E+02	2(2.941)	*	0.280000E+02	66(97.059)	
15	0.280000E+02	0.300000E+02	0(0.000)	*	0.300000E+02	66(97.059)	
16	0.300000E+02	0.320000E+02	0(0.000)	*	0.320000E+02	66(97.059)	
17	0.320000E+02	0.340000E+02	0(0.000)	*	0.340000E+02	66(97.059)	
18	0.340000E+02	0.360000E+02	1(1.471)	*	0.360000E+02	67(98.529)	
19	0.360000E+02	0.380000E+02	0(0.000)	*	0.380000E+02	67(98.529)	
20	0.380000E+02	0.400000E+02	0(0.000)	*	0.400000E+02	67(98.529)	

N = 68

MEAN = 0.172230RE+02
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.239419E+02
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.320667E+02
 RMS VALUE = 0.185176RE+02
 MAXIMUM VALUE = 0.4699K28E+02

S.D./DEVIATION/MEAN = 0.883K21RE-01
 RMS/MEAN = 0.1075167E+01
 (1/3)MEAN/MEAN = 0.139126RE+01
 (1/10)MEAN/MEAN = 0.1910540E+01
 MAX/MEAN = 0.272K66RE+01

ROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF T_P TO P_1

LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENt	CUMULATIVE DENSITY	PARENt
0.000000E+00	0.200000E+01	0.000000E+01	0(0.000)	0.200000E+01	0(0.000)
0.200000E+01	0.400000E+01	0.400000E+01	5(5.000)	0.400000E+01	5(5.000)
0.400000E+01	0.400000E+01	0.400000E+01	9(9.000)	0.600000E+01	14(14.000)
0.400000E+01	0.400000E+01	0.400000E+01	9(9.000)	0.800000E+01	23(23.000)
0.400000E+01	0.100000E+02	0.100000E+02	14(14.000)	0.100000E+02	37(37.000)
0.100000E+02	0.120000E+02	0.120000E+02	12(12.000)	0.120000E+02	49(49.000)
0.120000E+02	0.140000E+02	0.140000E+02	13(13.000)	0.140000E+02	62(62.000)
0.140000E+02	0.160000E+02	0.160000E+02	21(21.000)	0.160000E+02	83(83.000)
0.160000E+02	0.180000E+02	0.180000E+02	8(7.000)	0.180000E+02	91(91.000)
0.180000E+02	0.200000E+02	0.200000E+02	7(7.000)	0.200000E+02	98(98.000)
0.200000E+02	0.220000E+02	0.220000E+02	2(2.000)	0.220000E+02	100(100.000)
0.220000E+02	0.240000E+02	0.240000E+02	0(0.000)	0.240000E+02	100(100.000)
0.240000E+02	0.260000E+02	0.260000E+02	0(0.000)	0.260000E+02	100(100.000)
0.260000E+02	0.280000E+02	0.280000E+02	0(0.000)	0.280000E+02	100(100.000)
0.280000E+02	0.300000E+02	0.300000E+02	0(0.000)	0.300000E+02	100(100.000)
0.300000E+02	0.320000E+02	0.320000E+02	0(0.000)	0.320000E+02	100(100.000)
0.320000E+02	0.340000E+02	0.340000E+02	0(0.000)	0.340000E+02	100(100.000)
0.340000E+02	0.360000E+02	0.360000E+02	0(0.000)	0.360000E+02	100(100.000)
0.360000E+02	0.380000E+02	0.380000E+02	0(0.000)	0.380000E+02	100(100.000)
0.380000E+02	0.400000E+02	0.400000E+02	0(0.000)	0.400000E+02	100(100.000)

N = 100

MEAN = 0.117446E+02
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.167954E+02
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.192581E+02
 RMS VALUE = 0.126207E+02
 MAXIMUM VALUE = 0.218909E+02

S.DEVATION/Mean = 0.120600E+00
 RMS/Mean = 0.127514E+01
 (1/3)MEAN/Mean = 0.143000E+01
 (1/10)MEAN/Mean = 0.164229E+01
 MAX/Mean = 0.186467E+01

ROBABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF T_P TO P_2

LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENt	CUMULATIVE DENSITY	PARENt
0.000000E+00	0.200000E+01	0.000000E+01	0(0.000)	0.200000E+01	0(0.000)
0.200000E+01	0.400000E+01	0.400000E+01	3(3.000)	0.400000E+01	3(3.000)
0.400000E+01	0.400000E+01	0.400000E+01	7(7.000)	0.600000E+01	10(10.000)
0.400000E+01	0.900000E+01	0.900000E+01	15(15.000)	0.800000E+01	25(25.000)
0.900000E+01	0.120000E+02	0.120000E+02	13(13.000)	0.100000E+02	40(40.000)
0.120000E+02	0.140000E+02	0.140000E+02	12(12.000)	0.120000E+02	53(53.000)
0.140000E+02	0.160000E+02	0.160000E+02	16(16.000)	0.140000E+02	65(65.000)
0.160000E+02	0.180000E+02	0.180000E+02	9(9.000)	0.160000E+02	81(81.000)
0.180000E+02	0.200000E+02	0.200000E+02	5(5.000)	0.200000E+02	95(95.000)
0.200000E+02	0.220000E+02	0.220000E+02	4(4.000)	0.220000E+02	99(99.000)
0.220000E+02	0.240000E+02	0.240000E+02	1(1.000)	0.240000E+02	100(100.000)
0.240000E+02	0.260000E+02	0.260000E+02	0(0.000)	0.260000E+02	100(100.000)
0.260000E+02	0.280000E+02	0.280000E+02	0(0.000)	0.280000E+02	100(100.000)
0.280000E+02	0.300000E+02	0.300000E+02	0(0.000)	0.300000E+02	100(100.000)
0.300000E+02	0.320000E+02	0.320000E+02	0(0.000)	0.320000E+02	100(100.000)
0.320000E+02	0.340000E+02	0.340000E+02	0(0.000)	0.340000E+02	100(100.000)
0.340000E+02	0.360000E+02	0.360000E+02	0(0.000)	0.360000E+02	100(100.000)
0.360000E+02	0.380000E+02	0.380000E+02	0(0.000)	0.380000E+02	100(100.000)
0.380000E+02	0.400000E+02	0.400000E+02	0(0.000)	0.400000E+02	100(100.000)

N = 100

MEAN = 0.117290E+02
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.170530E+02
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.197221E+02
 RMS VALUE = 0.126133E+02
 MAXIMUM VALUE = 0.233540E+02

S.DEVATION/Mean = 0.120293E+00
 RMS/Mean = 0.107574E+01
 (1/3)MEAN/Mean = 0.145294E+01
 (1/10)MEAN/Mean = 0.168163E+01
 MAX/Mean = 0.199130E+01

RORABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF H.0-CROSS1

	LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENCT	*	CUMMULATIVE DENSITY	PARENCT
1	0.000000E+40	0.100000E+01	5(7.463)		*	0.100000E+01	5(7.463)
2	0.100000E+01	0.200000E+01	8(11.940)		*	0.200000E+01	13(19.403)
3	0.200000E+01	0.300000E+01	12(17.910)		*	0.300000E+01	25(37.313)
4	0.300000E+01	0.400000E+01	16(23.881)		*	0.400000E+01	41(61.194)
5	0.400000E+01	0.500000E+01	12(17.910)		*	0.500000E+01	53(79.104)
6	0.500000E+01	0.600000E+01	7(10.446)		*	0.600000E+01	60(89.552)
7	0.600000E+01	0.700000E+01	1(1.493)		*	0.700000E+01	61(91.045)
8	0.700000E+01	0.800000E+01	2(2.985)		*	0.800000E+01	63(94.038)
9	0.800000E+01	0.900000E+01	3(4.478)		*	0.900000E+01	66(98.507)
10	0.900000E+01	0.100000E+02	0(0.000)		*	0.100000E+02	66(98.507)
11	0.100000E+02	0.110000E+02	1(1.493)		*	0.110000E+02	67(100.000)
12	0.110000E+02	0.120000E+02	0(0.000)		*	0.120000E+02	67(100.000)

N = 67

MEANS = 0.3696439E+01
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.5906293E+01
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.8179346E+01
 RMS VALUE = 0.4106642E+01
 MAXIMUM VALUE = 0.1029749E+02

S.DEVIATION/MEAN = 0.4118054E+00
 RMS/MEAN = 0.1135320E+01
 (1/3)MEAN/MEAN = 0.1597833E+01
 (1/10)MEAN/MEAN = 0.2212764E+01
 MAX/MEAN = 0.2705813E+01

RORABILITY DENSITY AND DISTRIBUTION OF H.0-CROSS2

	LOWER	UPPER(=)	DENSITY	PARENCT	*	CUMMULATIVE DENSITY	PARENCT
1	0.000000E+40	0.100000E+01	3(4.478)		*	0.100000E+01	3(4.478)
2	0.100000E+01	0.200000E+01	11(16.418)		*	0.200000E+01	14(20.896)
3	0.200000E+01	0.300000E+01	12(17.910)		*	0.300000E+01	26(38.806)
4	0.300000E+01	0.400000E+01	16(23.881)		*	0.400000E+01	42(62.667)
5	0.400000E+01	0.500000E+01	15(22.366)		*	0.500000E+01	57(85.079)
6	0.500000E+01	0.600000E+01	3(4.478)		*	0.600000E+01	60(89.552)
7	0.600000E+01	0.700000E+01	1(1.493)		*	0.700000E+01	61(91.045)
8	0.700000E+01	0.800000E+01	2(2.985)		*	0.800000E+01	63(94.038)
9	0.800000E+01	0.900000E+01	2(2.985)		*	0.900000E+01	65(97.015)
10	0.900000E+01	0.100000E+02	1(1.493)		*	0.100000E+02	66(98.507)
11	0.100000E+02	0.110000E+02	1(1.493)		*	0.110000E+02	67(100.000)
12	0.110000E+02	0.120000E+02	0(0.000)		*	0.120000E+02	67(100.000)

N = 67

MEANS = 0.3700533E+01
 (1/3)HIGHEST MEAN = 0.5840638E+01
 (1/10)HIGHEST MEAN = 0.8532192E+01
 RMS VALUE = 0.4210480E+01
 MAXIMUM VALUE = 0.1026474E+02

S.DEVIATION/MEAN = 0.4104624E+00
 RMS/MEAN = 0.1135349E+01
 (1/3)MEAN/MEAN = 0.1574019E+01
 (1/10)MEAN/MEAN = 0.2300692E+01
 MAX/MEAN = 0.2705871E+01

EXP.NO.23 ROLL

STATISTICAL VALUES 2

VARIANCE OF INPUT DATA = 0.2317134E+01 DEG**2

APPARENT AMPLITUDE DUE TO R-CROSS

MEAN VALUE = 0.3702486E+01

(1/3) HIGHEST MEAN = 0.5873466E+01

(1/10) HIGHEST MEAN = 0.6355770E+01

APPARENT PERIOD

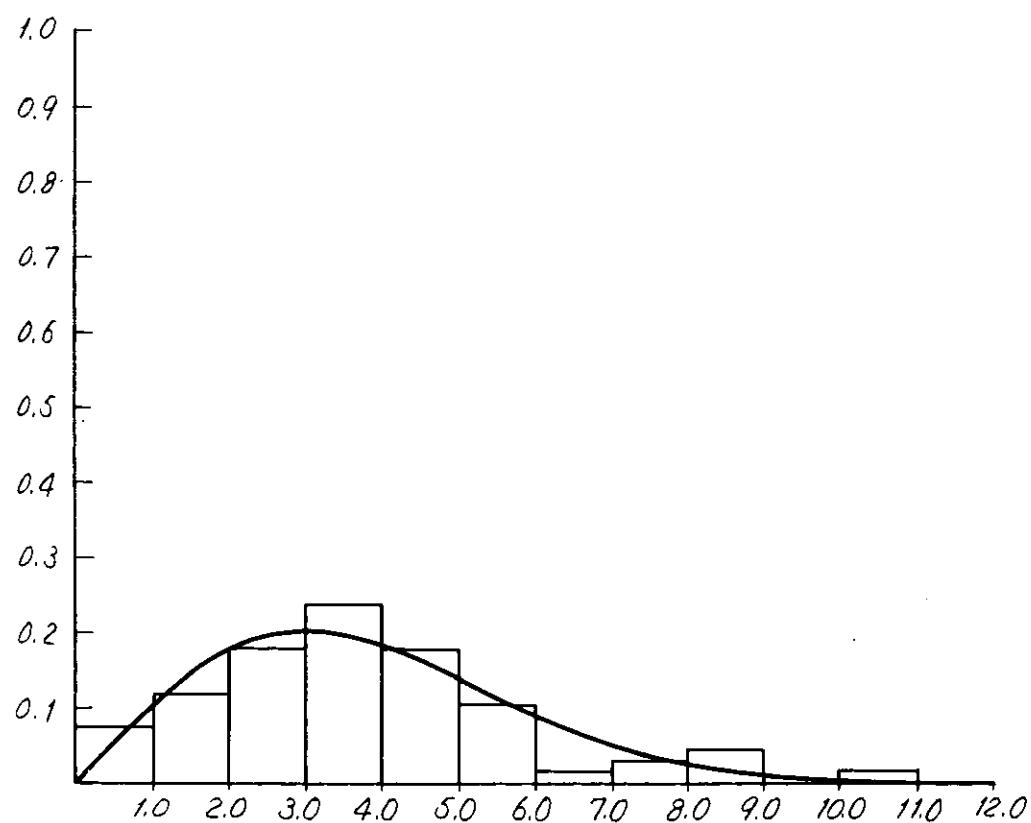
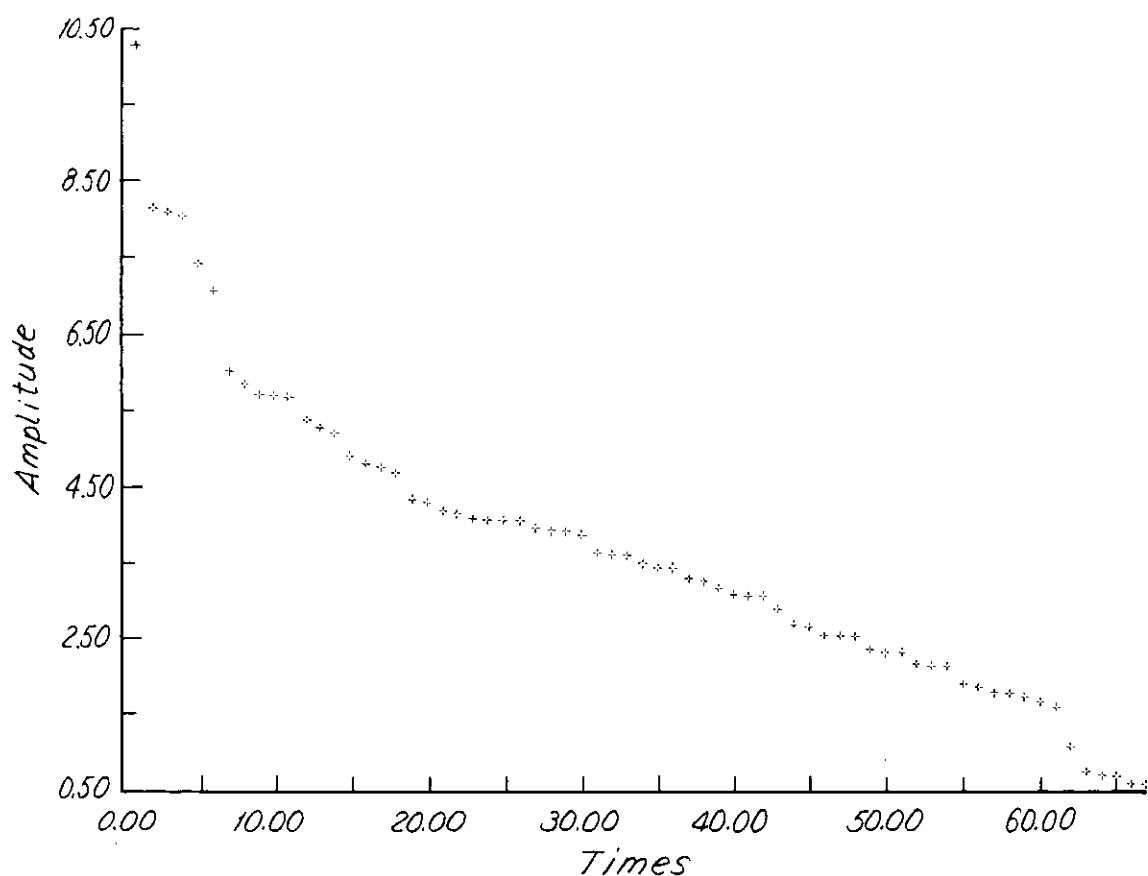
MEAN PERIOD DUE TO 0-CROSS = 0.1725401E+02

MEAN PERIOD DUE TO PEAK TO PEAK = 0.1173639E+02

KYOKUCHI OYORI SUND TIME(SECOND)

I= 1	T= 5.300	T= 10.100	T= 15.687	T= 18.844	T= 24.260	T= 30.050	T= 40.545	T= 46.515	T= 53.786	T= 62.167	H= -3.026	H= 0.838	H= -2.228	H= -1.253	H= -3.053	H= 0.736	H= -1.579	H= 0.400	H= -1.734	H= 1.040
I= 11	T= 69.786	T= 76.429	T= 79.833	T= 82.125	T= 86.813	T= 95.167	T= 98.333	T= 105.944	T= 112.556	T= 119.833	H= -1.093	H= 1.251	H= 0.849	H= 1.108	H= -1.045	H= 0.095	H= -0.289	H= 1.039	H= -1.317	H= 2.226
I= 21	T= 120.445	T= 134.143	T= 137.517	T= 139.534	T= 143.071	T= 148.367	T= 155.000	T= 163.833	T= 173.357	T= 176.625	H= -1.304	H= -0.205	H= -0.604	H= -0.541	H= -1.223	H= 1.612	H= -2.234	H= 1.614	H= -1.811	H= -1.203
I= 31	T= 179.400	T= 186.417	T= 193.453	T= 206.000	T= 213.929	T= 221.750	T= 231.750	T= 240.658	T= 245.750	T= 251.227	H= -1.789	H= 2.156	H= -1.779	H= 1.681	H= -3.113	H= 1.703	H= -1.800	H= 0.945	H= -2.519	H= -0.31
I= 41	T= 292.700	T= 255.400	T= 240.375	T= 263.100	T= 268.125	T= 274.577	T= 280.237	T= 287.357	T= 288.633	T= 289.900	H= -0.520	H= -0.101	H= -1.139	H= -0.544	H= -1.829	H= -0.066	H= -4.312	H= 0.987	H= 0.902	H= 0.9/2
I= 51	T= 297.900	T= 305.500	T= 314.250	T= 320.000	T= 321.784	T= 327.045	T= 335.503	T= 343.000	T= 353.071	T= 360.167	H= -2.101	H= 0.400	H= -1.124	H= -0.750	H= -0.847	H= 1.278	H= -2.892	H= 1.445	H= -2.839	H= 0.168
I= 61	T= 362.917	T= 346.278	T= 372.500	T= 378.433	T= 380.813	T= 381.833	T= 391.833	T= 399.000	T= 399.929	T= 402.145	H= -0.515	H= 0.375	H= -1.526	H= 0.268	H= -0.095	H= -2.403	H= 1.779	H= 1.682	H= 1.9/8	
I= 71	T= 409.771	T= 416.750	T= 421.750	T= 433.278	T= 438.945	T= 441.929	T= 443.808	T= 448.278	T= 450.333	T= 450.833	H= -1.636	H= 2.308	H= -2.450	H= 1.960	H= -1.296	H= -0.786	H= -1.065	H= 0.512	H= 0.254	H= 0.2/7
I= 81	T= 454.071	T= 457.333	T= 460.200	T= 461.722	T= 464.389	T= 465.900	T= 466.500	T= 475.761	T= 482.662	T= 486.043	H= -0.179	H= 0.628	H= -0.110	H= 0.071	H= -0.460	H= -0.342	H= -0.514	H= 3.496	H= -1.914	H= -0.846
I= 91	T= 447.608	T= 493.400	T= 497.310	T= 503.433	T= 517.543	T= 525.333	T= 533.499	T= 538.954	T= 542.917	T= 546.449	H= -1.159	H= 1.730	H= -1.431	H= 1.248	H= -2.049	H= 3.422	H= -2.244	H= 0.396	H= -0.675	H= 1.0/5
I= 101	T= 550.400	T= 571.510	T= 554.278	T= 561.682	T= 568.125	T= 576.786	T= 585.510	T= 591.875	T= 598.611	T= 605.527	H= -0.146	H= -0.247	H= -0.517	H= 0.714	H= -1.810	H= 1.784	H= -2.263	H= 0.833	H= -1.698	H= 1.044
I= 111	T= 612.162	T= 619.813	T= 626.443	T= 633.482	T= 638.449	T= 654.687	T= 661.763	T= 669.333	T= 671.500	T= 673.214	H= -2.016	H= 2.801	H= -1.249	H= 1.409	H= -0.174	H= 2.834	H= -2.370	H= 2.304	H= 2.045	H= 2.263
I= 121	T= 476.937	T= 642.250	T= 691.515	T= 701.833	T= 712.546	T= 720.300	T= 728.250	T= 735.773	T= 741.860	T= 742.357	H= 0.966	H= 2.313	H= -2.576	H= 3.736	H= -3.694	H= 4.962	H= -3.135	H= 2.648	H= 1.4n9	H= 1.619
I= 131	T= 747.286	T= 751.500	T= 753.012	T= 757.933	T= 764.477	T= 767.000	T= 771.731	T= 780.500	T= 785.563	T= 792.000	H= -0.414	H= -0.130	H= -0.223	H= 1.176	H= -0.484	H= -0.140	H= -0.596	H= 0.984	H= -7.042	H= 2.2/5
I= 141	T= 799.667	T= 804.600	T= 810.750	T= 820.260	T= 825.357	T= 830.000	T= 833.000	T= 839.056	T= 846.833	T= 848.214	H= -1.160	H= 0.740	H= -1.748	H= 1.433	H= -0.422	H= 1.081	H= 0.673	H= 2.419	H= -1.721	H= -1.2n8
I= 151	T= 849.400	T= 858.667	T= 847.402	T= 877.000	T= 885.727	T= 893.944	T= 901.700	T= 910.423	T= 920.100	T= 921.167	H= -1.363	H= 3.210	H= -1.472	H= 2.798	H= -1.521	H= 2.674	H= -1.237	H= 2.784	H= -0.517	H= -0.446
I= 161	T= 923.167	T= 931.375	T= 918.498	T= 945.470	T= 959.000	T= 963.643	T= 969.833	T= 972.167	T= 975.505	T= 985.833	H= -0.498	H= 2.969	H= 4.329	H= 1.611	H= -1.094	H= 0.483	H= -0.574	H= -0.238	H= -1.176	H= 3.175
I= 171	T= 942.731	T= 1010.051	T= 1010.249	T= 1010.107	T= 1015.987	T= 1019.382	T= 1024.000	T= 1032.400	T= 1034.333	T= 1037.974	H= -2.559	H= 7.70A	H= -0.436	H= 3.573	H= -2.054	H= -0.633	H= -2.281	H= 1.157	H= 0.892	H= 2.418
I= 181	T= 1044.964	T= 1052.072	T= 1062.021	T= 1071.071	T= 1080.520	T= 1089.000	T= 1098.654	T= 1104.750	T= 1112.735	T= 1119.457	H= -3.403	H= 3.477	H= -3.346	H= 3.732	H= -6.556	H= 1.971	H= -0.684	H= 2.369	H= -3.337	H= -9.444
I= 191	T= 1126.900	T= 1143.773	T= 1145.917	T= 1139.250	T= 1142.392	T= 1143.643	T= 1150.722	T= 1155.700	T= 1161.045	T= 1166.918	H= -1.167	H= 0.758	H= 0.319	H= 1.146	H= -1.743	H= 0.702	H= -1.102	H= -0.417	H= -1.457	H= 2.057
I= 201	T= 1176.900	T= 1184.555	T= 1193.045	T=							H= -2.016	H= 3.77A	H= -5.044	H=						

ZERO-CROSS TIME(SECOND)	I= 1	T= 8.161	T= 12.724	T= 28.549	T= 33.111	T= 44.622	T= 48.086	T= 58.90A	T= 67.041	T= 73.730	T= 84.473
I= 11	T= 93.741	T= 26.354	T= 100.603	T= 108.338	T= 115.013	T= 125.631	T= 145.601	T= 150.712	T= 159.409	T= 168.139	
I= 21	T= 192.737	T= 140.124	T= 201.954	T= 209.172	T= 218.611	T= 224.991	T= 217.954	T= 242.327	T= 284.946	T= 292.311	
I= 31	T= 302.677	T= 308.731	T= 324.341	T= 330.157	T= 339.601	T= 347.693	T= 350.401	T= 361.071	T= 364.685	T= 367.78	
I= 41	T= 377.633	T= 32.894	T= 305.249	T= 405.924	T= 422.515	T= 419.138	T= 424.215	T= 436.372	T= 446.402	T= 452.847	
I= 51	T= 455.222	T= 459.530	T= 441.112	T= 462.254	T= 471.140	T= 479.482	T= 490.380	T= 495.394	T= 500.837	T= 513.01	
I= 61	T= 521.707	T= 510.412	T= 477.344	T= 540.481	T= 544.826	T= 548.722	T= 558.270	T= 563.535	T= 571.547	T= 581.60	
I= 81	T= 665.111	T= 645.817	T= 606.453	T= 705.937	T= 715.603	T= 724.576	T= 732.866	T= 745.949	T= 749.778	T= 753.111	
I= 91	T= 754.622	T= 762.644	T= 773.401	T= 796.987	T= 802.401	T= 806.852	T= 814.704	T= 823.611	T= 827.282	T= 842.92	
I= 101	T= 852.600	T= 854.141	T= 871.379	T= 881.725	T= 898.190	T= 905.633	T= 916.963	T= 925.140	T= 934.876		
I= 111	T= 942.183	T= 944.075	T= 941.701	T= 965.964	T= 979.566	T= 989.507	T= 997.735	T= 1002.839	T= 1005.929	T= 1013.3/3	
I= 121	T= 1128.769	T= 1041.340	T= 1047.477	T= 1058.706	T= 1066.516	T= 1078.876	T= 1084.400	T= 1094.231	T= 1100.329	T= 1108.243	
I= 131	T= 1116.518	T= 1125.928	T= 1129.802	T= 1146.162	T= 1163.934	T= 1170.409	T= 1179.230	T= 1188.210	T= 1198.384	T=	



3.4 船体運動のスペクトラムと確率分布

横浜国大 竹沢誠二
東京大学 大川豊

3.4.1 スペクトラムおよび正規分布

(竹沢誠二)

スペクトラム解析は本論の基本であるから、3.3の方法に基いて、多数のスペクトラムの算出が行なわれた。スペクトラムの形状の具体例は以下の各節に示されているのを参考にしていただくとして、ここには特に示さない。

算出後の感想としては、船体運動のスペクトラムの形は予想以上にバラエティーに富んでおり、よく教科書でみる二次元海洋波のスペクトラムのように単純なものではないことがわかった。一方、これらのスペクトラムは複雑ではあるが、それなりの特質を表わしているように思われる所以、他の船体運動との関連を解析することによって、海洋波のスペクトラムが不明でも種々な新事実を把握できる可能性がある。この意味から典型的な場合については、クロススペクトラムなどを追加すると興味深い結果が出るであろう。

不規則波（海洋波）中の船体運動解析は、その現象がStationary Gaussian Processであることが基本になっている。

ここでは今回の実験でその検討を行なった例をあげておく。実験番号Y-S2は連続1時間の記録を行なっている。そのタイム・ヒストリーを3分割し、20分ごとのスペクトラム解析結果をFig.3.4.1-1,2に示す。本図によるとスペクトラムの面積の平方根に比例する σ_s はロールでは時間と共に若干減少し、ピッチでは逆に若干増加する傾向にあるが、スペクトラムの形状は三者ともよく類似していると言えよう。すなわち、この程度の範囲でStationaryであったことがわかる。

Gauss分布（正規分布）の上ではどの程度にStationaryであったかをFig.3.4.1-3,4として示した。このような図上では、時間に關係なくほぼ一本の線の上に乗り、Gauss分布がStationaryに適当時間続いていると考えてよいことが示されている。

正規分布あるいはスペクトラム解析についても多数の検討が行なわれたが、大約の結論としては、従来の資料で言わわれているように約20分間の記録を約1secごとに読み取って、ラグ数をデーター数の1%にとるなる解析法が総合的には妥当な結果を与えることがわかった。

3.4.2 長期分布

(竹沢誠二)

今回の実験の計測はすべて短周期分布を測定していることになる。このような結果から、長期分布を推定する方法が種々提案されている。

以下に、それらの方法を適用した解析例を示しておく。

Fig.3.4.2-1 (Roll) } Log Normal 分布
Fig.3.4.2-2 (Pitch) }

この結果を見ると、漸近値（上限値）を入れて、漸近分布によって外挿する変形Galton分布（変形対数正規分布）によって説明できる傾向にあると思われる。

Gumbel分布

この方法は今回の例では適用が型通りには行かないが、1型と3型とを比較して示した。もちろん渡辺先生が指摘されたように上限値のある3型が望ましく、その上限値が適当な値である必要があろう。

Weibull分布

この方法による解析結果の与える再帰期間とGumbel分布の与えるそれがほぼ同じ値になることが望まし

ROLL Spectrum (Y.N.U. - Homeward) Y-52

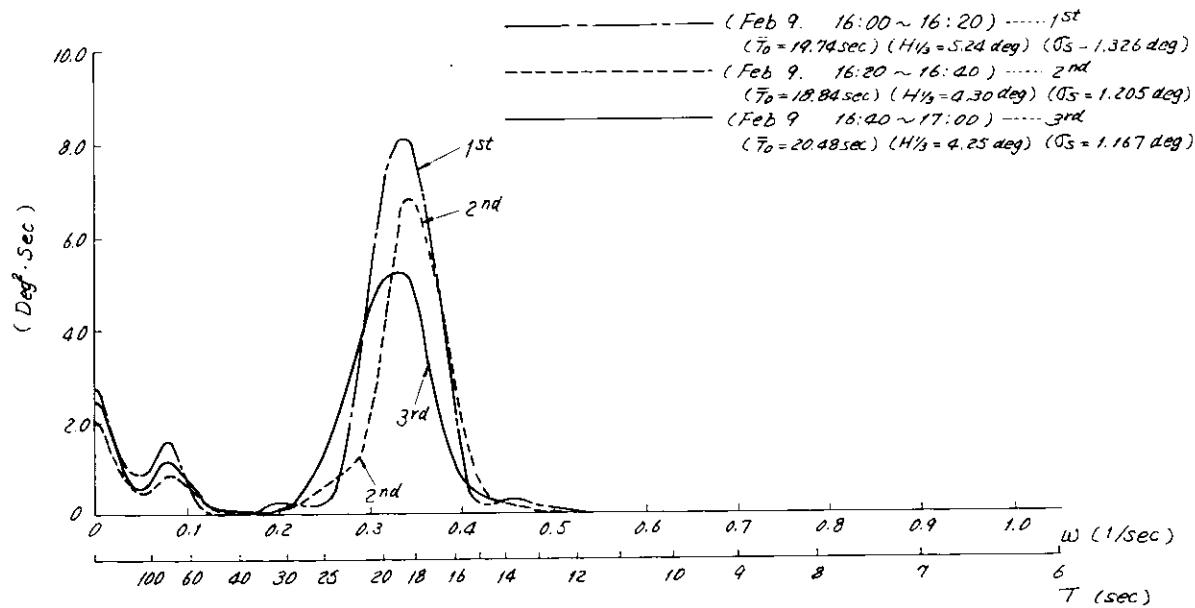


Fig. 3.4.1-1

Pitch Spectrum (Y.N.U. - Homeward) Y-52

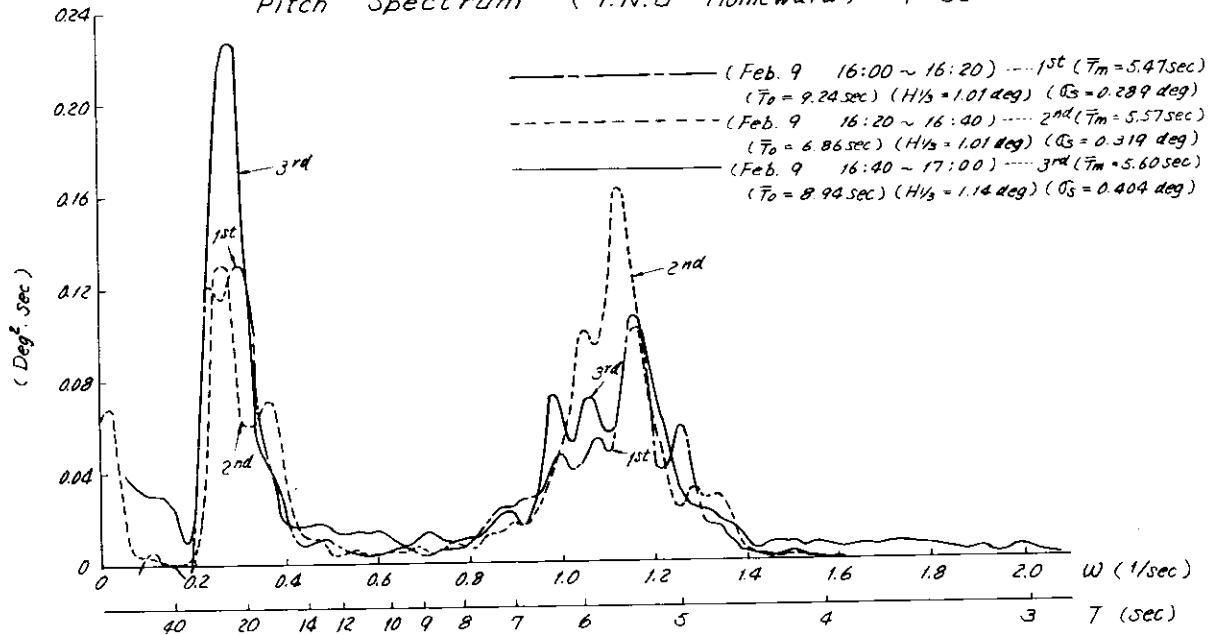


Fig. 3.4.1-2

Fig. 3.4.1—4

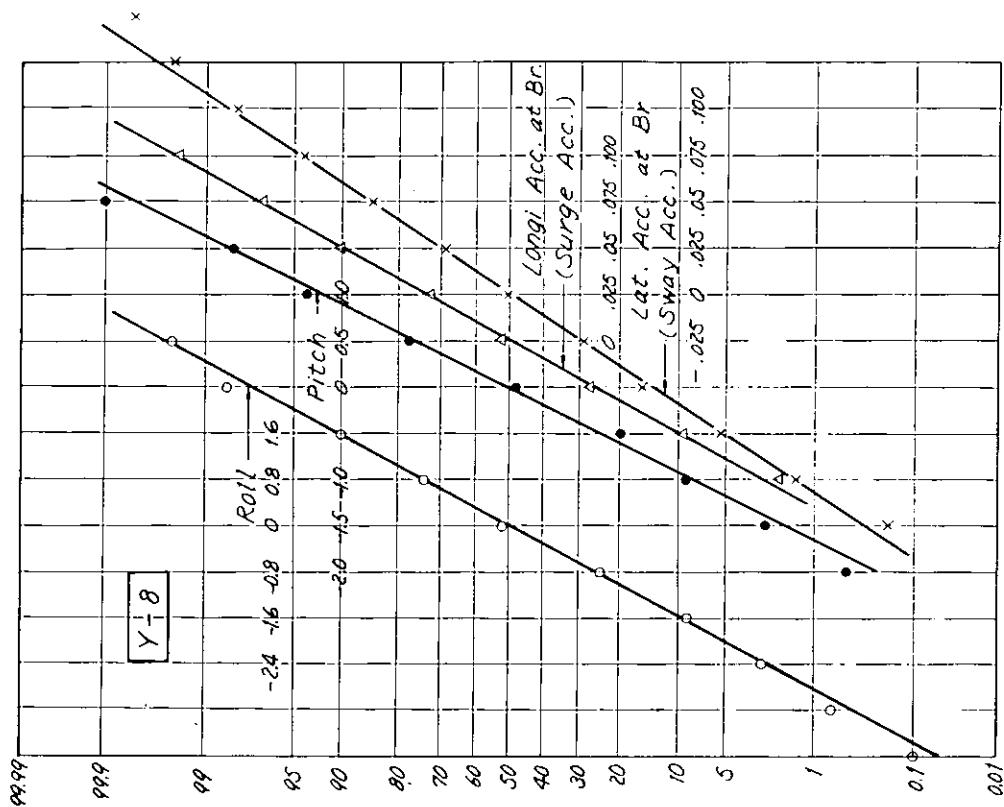
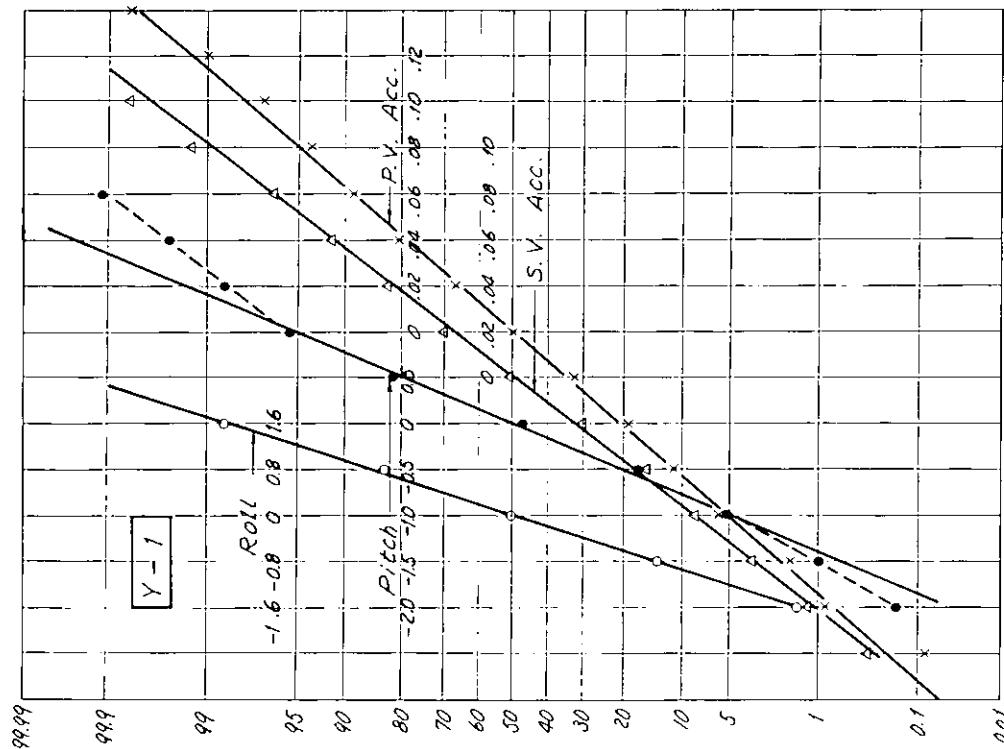


Fig. 3.4.1—3



5。

以上のように、機械的に各種の方法を適用してみたが、今後により一層のデータの集積を待って、本格的な解析がなされるべきであろう。

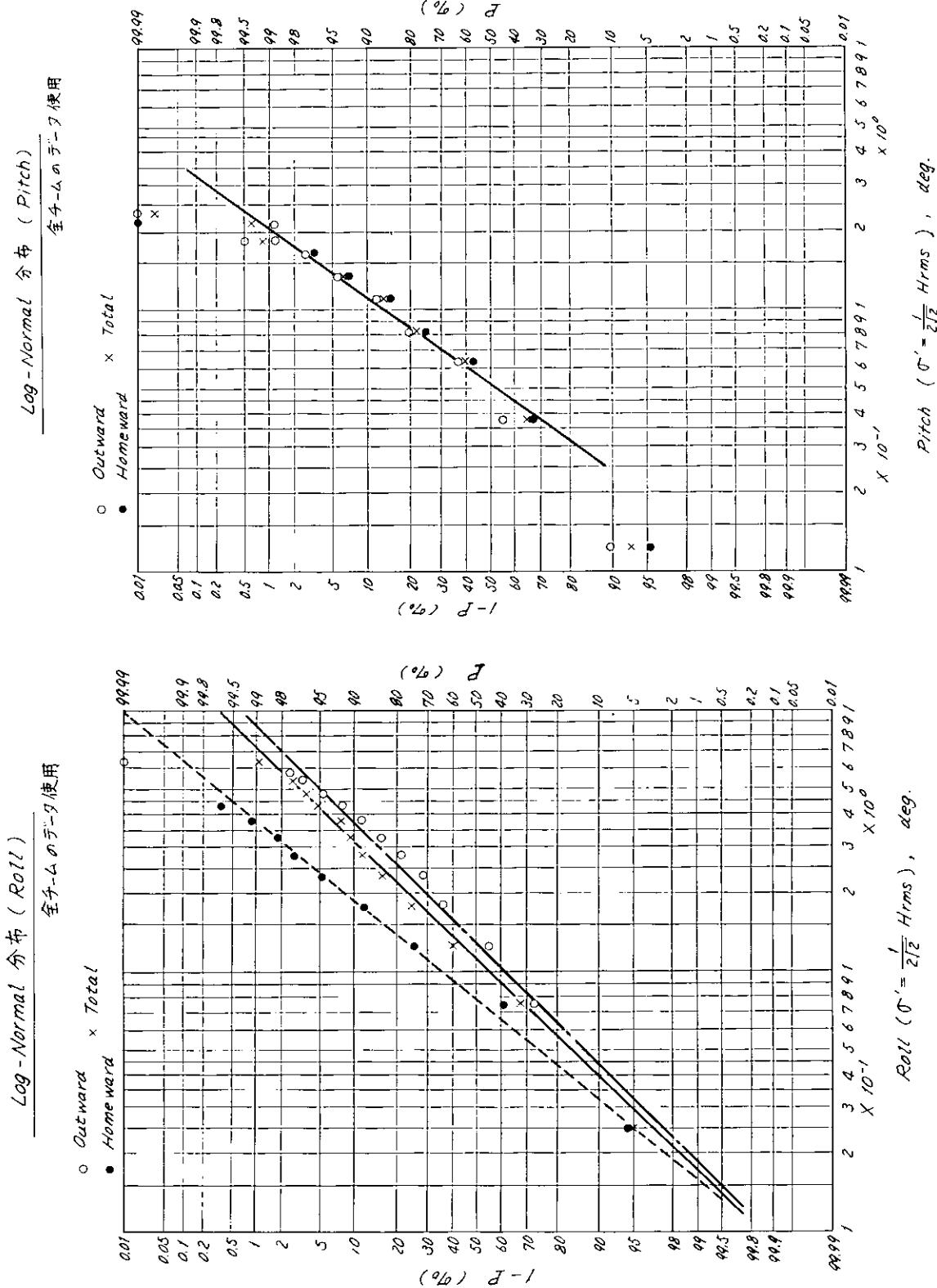


Fig. 3.4.2-1

Fig. 3.4.2-2

3.4.3 Rayleigh 分布

(大川豊)

Rolling, Pitching に関する Rayleigh 分布の適合度の検定について以下に述べる。

3.4.3.1 統計学における統計的仮説の検定の方法

母集団の分布に関してある仮説（統計的仮説） H をおいたとき、この仮説が正しいかどうかを母集団からの標本 X_1, X_2, \dots, X_n を用いて検定するには次の様に考える。まずこれら標本 X_1, X_2, \dots, X_n から導かれる適当な統計量 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ を考え、この Y についてもし仮説が正しければ極めてまれにしか生じない領域 R を次のように定める。

$$P(Y \in R) = \alpha \quad (\alpha: \text{危険率}, R: \text{棄却域})$$

α は仮説が正しかった場合に $Y \in R$ なる事象の生ずる確率である。 α を十分小さくとれば、仮説が正しければ、ほとんどの場合 $Y \notin R$ となるであろう。 $Y \in R$ となることは仮説が正しければ極めてまれにしか生じない事象が生じたことになり、この仮説を採用しない方がよいであろう。即ち

$$\begin{cases} Y \in R \text{ ならば } \text{仮説 } H \text{ を棄てる} \\ Y \notin R \text{ ならば } \text{仮説 } H \text{ を棄てない} \end{cases}$$

という規約に従って仮説の検定を行なう。

3.4.3.2 ピアソンの χ^2 分布による適合度検定（ χ^2 検定）

この方法は離散的な母集団分布の検定に用いられるものであるが、連続分布の場合は適当な階級分けを行なって離散分布で近似して適用する。母集団分布としては

$$P(X = a_i) = p_i \quad i = 1, 2, \dots, r$$

なる分布 F_0 を考える。

母集団に属する大きさ n の標本 x_1, x_2, \dots, x_n について、 a_1, a_2, \dots, a_r の度数を f_1, f_2, \dots, f_r とする。 $(f_1 + f_2 + \dots + f_r = n)$ 統計量 Y としては

$$Y = \chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(f_i - np_i)^2}{np_i} \quad \text{をとる。 (ピアソンの} \chi^2 \text{)}$$

この不規則変数 χ^2 は n が十分大きいときには近似的に自由度 $(r-1)$ の χ^2 分布をする。危険率 α とすると自由度 $(r-1)$ の χ^2 の値を用いて

$$\begin{cases} \chi^2 > \chi^2_{\alpha} \text{ ならば仮説 } H \text{ を棄てる} \\ \chi^2 \leq \chi^2_{\alpha} \text{ ならば仮説 } H \text{ を棄てない} \end{cases}$$

この際母集団分布 F が R 個の母数を含んでいるとき、標本 x_1, x_2, \dots, x_n からそれらの母数を推定し、分布 F の母数を決定してから χ^2 検定を行なうときは自由度 $(r-R-1)$ の χ^2 分布を適用する。

いずれの np_i も少なくとも 5 以上であることが望ましい。

3.4.3.3 Rayleigh 分布への適用

連続分布であるから a_i は階級分けをした十点で代表されることにする。即ち

$$P(a_{i-\frac{1}{2}} < X \leq a_{i+\frac{1}{2}}) = p_i \quad i = 1, 2, \dots, r$$

Rayleigh 分布は母数として平均値 \bar{H} をとると

$$p(H) = \frac{\pi H}{2 \bar{H}^2} \exp\left(-\frac{\pi H^2}{4 \bar{H}^2}\right)$$

また自乗平均値 H_{rms} を母数とするとき

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp\left(-\frac{H^2}{H_{rms}^2}\right)$$

で表わされるので標本 H_1, H_2, \dots, H_n より \bar{H}, H_{rms} のいずれかを推定して分布 F を決定し a_i の点について p_i を計算する。いずれの場合も母数は 1 つだから ($r - 2$) の χ^2 分布を用いる。従ってこの場合の仮説は
 “平均値 \bar{H} の Rayleigh 分布をする” 又は
 “自乗平均値 H_{rms} の Rayleigh 分布をする”
 ということになる。以下具体例を示す。

3.4.3.4 EXAMPLE EXP. NO. 7 ROLL
 Table 3.4.3-1

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp\left(-\frac{H^2}{H_{rms}^2}\right) \quad p_i = p(H) \cdot \Delta H$$

$$\Delta H = 3 \quad n = 59$$

$$H_{rms}^2 = 159.989611 \quad \text{自由度} = 4$$

H	f_i	p_i	$n p_i$	$\frac{(f_i - n p_i)^2}{n p_i}$
1.5	3	0.05547	3.273	
4.5	9	0.14871	8.774	0.000
7.5	12	0.19809	11.687	0.008
10.5	6	0.19773	11.666	2.752
13.5	10	0.16206	9.562	0.020
16.5	12	0.11304	6.669	4.261
19.5	6	0.06807	4.096	
22.5	1	0.03561	2.101	7.476
25.5	0	0.01635	0.965	0.030
28.5	0	0.00666	0.394	
	59	1.00179	59.107	7.071

3.4.3.5 総 括

n が 30 以上のすべての場合について χ^2 を計算した結果を表 3.4.3.2 に示す。 $\alpha = 0.05$ とすると仮説を棄てなければならない場合がかなりあることになり (52 case 中 13 例) また $\alpha = 0.01$ としても 4 例となる。しかしながら、これら棄却域に入ったものについて、総括表から他のデータを比較してみても極だった相関関係は認められない。統計学的な言い方をすれば、これだけの事実から全波高が Rayleigh 分布をするという仮説を棄てるとはできないということが言えるであろう。

*参考文献 岩波基礎工学：確率統計現象 I・II

Table 3.4.3-2

Exp. NO.	ROLL					PITCH				
	N	自由度	χ^2	判定		N	自由度	χ^2	判定	
				0.05	0.01				0.05	0.01
4	56	3	1.464			72	4	10.665	X	
5	59	2	6.657	X		67	3	3.714		
6										
7	59	4	7.071			56	3	1.927		
8	61	3	2.783			49	2	10.235	X	X
9	37	3	2.909			37	3	1.974		
10	43	4	5.636			42	3	8.579	X	
11	42	4	3.205			40	3	1.927		
12	55	3	3.836			73	4	3.643		
13	52	3	0.300			67	3	2.763		
14	46	4	7.326			51	3	0.329		
15										
16	80	4	15.473	X	X	123	5	13.979	X	
17	78	5	4.915			132	6	6.227		
18	58	2	8.548	X		126	4	15.851	X	X
19	68	4	4.589			147	5	4.554		
20	62	4	2.925			128	3	17.410	X	X
21	72	3	4.235			130	5	15.049	X	
22	63	4	6.723			96	5	3.344		
23	67	3	1.119			114	5	3.084		
24	70	4	0.991			120	7	6.459		
25	68	3	7.572			130	7	8.141		
26	68	3	5.432			141	3	2.899		
27	58	3	10.490	X		140	4	2.376		
28	48	2	8.533	X		103	3	9.029	X	
29	62	3	3.904			137	3	2.284		
30	67	3	6.823			128	3	5.063		
31										
32	68	5	4.236			172	4	4.014		

注) 1. X は棄却域に入ったもの。

2. EXP. NO. 6, 15, 31. は N が小さくて χ^2 検定を適用できない。

Table 3.4.3-3 χ^2 -分 布 表

P	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.750	0.500	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	392704.10 ⁻¹⁰	157088.10 ⁻⁹	982069.10 ⁻⁹	393214.10 ⁻⁹	0.0157908	0.0157908	0.454937	1.32330	2.70554	3.84166	5.02330	6.43000	7.87764
2	0.0100251	0.0210071	0.0508356	0.182587	0.216259	0.5573561	1.26129	2.77259	4.60317	5.09142	7.37754	9.20034	-0.59561
3	0.077212	0.144832	0.25295	0.584325	1.2152531	1.92255	4.10235	6.25339	7.01673	9.34640	11.30449	12.8391	-14.8662
4	0.208990	0.207110	0.4924419	0.710721	1.033623	1.35670	5.38527	7.79944	9.48773	11.1433	13.2767	14.2767	-14.8662
5	0.411740	0.554300	0.832121	1.145476	1.61031	2.674660	4.35146	6.62563	9.29635	11.1705	12.8325	15.3013	16.7476
6	0.672727	0.872035	1.207347	1.63539	2.2013	3.454660	5.36102	7.04030	10.5016	12.4024	14.9119	16.5476	-16.5476
7	0.999265	1.239043	1.68937	2.16735	2.83317	4.25085	6.35581	9.03215	12.0170	14.0671	16.4753	20.2777	-20.2777
8	1.366419	1.466428	2.17973	2.72264	3.28954	5.07064	7.04212	10.2100	13.3616	15.3073	17.5346	20.0902	21.9550
9	1.704626	2.087912	2.70039	3.32311	4.16816	5.89283	9.34283	11.8897	14.6837	16.4190	18.0228	21.4660	23.5873
10	2.15585	2.55821	3.24697	3.96230	4.86518	6.73220	9.34102	12.5600	15.927	18.3970	20.0331	23.2093	25.1802
11	2.60221	3.05347	3.91375	4.57481	7.57779	7.58462	10.3472	13.7007	17.2250	19.4751	21.9200	24.7550	26.7550
12	3.07382	3.57056	4.42379	5.2203	6.30380	8.43602	11.3403	14.8451	18.5694	21.0261	23.3917	26.2170	28.2945
13	3.58703	4.10891	5.00294	5.89786	7.0150	9.20906	12.3938	15.9839	19.0119	22.3621	24.7356	27.6893	29.3194
14	4.07468	4.66063	5.12272	6.57063	7.79853	10.1653	13.3393	17.1170	21.6662	23.8809	26.1190	29.4413	31.3193
15	4.10098	5.22335	6.22214	7.2694	8.54675	11.0365	14.3889	18.2451	22.3072	24.9530	27.4534	30.5579	32.8013
16	5.14224	6.90266	7.91164	9.31823	11.9122	15.3885	19.3688	23.5818	26.2962	28.4534	31.999	34.2672	-34.2672
17	5.69724	6.49776	8.67176	9.0852	12.7919	16.3381	20.4897	24.760	27.5871	30.1110	33.4037	35.7195	-35.7195
18	6.26491	7.04691	8.23975	9.30016	10.6649	13.6253	17.3379	21.6049	25.9801	28.5693	31.5264	34.8053	37.1561
19	6.84399	7.63273	8.90355	10.1170	11.6309	14.5620	18.3376	22.7178	27.2036	30.435	32.8523	36.1908	38.5822
20	7.43396	8.21040	9.59033	10.593	12.4426	15.4518	19.3374	23.8277	28.4120	31.4104	34.1666	37.5662	39.9063
21	8.03316	8.80720	10.28932	11.5973	13.2396	16.3444	20.3272	24.9348	29.651	32.4705	35.4789	38.921	41.4010
22	8.64222	9.54249	10.9823	12.3380	13.045	17.2396	21.3370	26.0393	30.8133	32.9264	36.7907	40.2894	42.7956
23	9.26042	10.19507	11.6885	13.0925	14.9479	18.1373	20.3269	24.1413	32.069	35.1725	38.1944	41.6382	44.113
24	9.88623	10.9564	12.4011	13.9464	15.6587	19.0372	23.3387	28.2212	33.1963	36.4151	39.3611	42.9748	45.5855
25	10.5197	11.52440	13.1197	14.6114	16.4734	19.8939	24.3366	29.3389	34.3016	37.6525	40.6465	43.3141	46.9273
26	11.1603	12.1981	13.8439	15.3709	17.2019	20.8434	25.3342	30.4345	35.5631	39.0852	41.9232	45.6447	48.2899
27	11.8076	12.8786	14.5733	16.1513	18.1138	21.2424	26.9363	31.5284	36.7452	40.1133	43.1944	46.9130	49.6449
28	12.4613	13.5648	15.3079	16.9279	18.9392	22.6572	27.3943	32.6205	37.9259	41.3372	44.6607	48.2282	50.9233
29	13.1211	14.2565	16.0171	17.7083	19.7677	23.5666	28.3362	33.2109	39.0825	42.3569	45.7222	49.5979	52.3356
30	13.7867	14.9535	16.7003	18.4926	20.5992	24.4776	29.3360	34.7998	40.2510	43.7729	46.9792	50.8922	53.6220
40	20.2045	22.1643	24.4331	26.5053	28.0505	33.6603	39.3354	45.6160	51.8050	55.7525	59.3417	63.6907	66.7559
50	27.9071	29.2067	32.3574	34.7642	37.6886	42.922	48.3349	56.3326	63.1671	67.5068	71.4202	75.1539	79.4840
60	35.5344	37.49848	40.6817	43.1929	46.2989	52.2938	57.3347	64.9814	74.3970	79.0819	83.3976	89.3794	91.9517
70	43.2752	45.4419	48.2576	51.7303	55.3240	61.6083	67.3844	77.5766	85.5277	90.5312	95.0231	100.4225	104.215
80	51.1720	53.5600	57.1512	60.3915	65.2728	71.1645	78.3343	86.303	96.5792	101.879	106.329	116.329	-116.329
90	50.1943	61.7541	65.6466	69.1260	72.2912	80.6247	89.3312	98.6689	107.565	113.145	118.336	124.1342	128.299
100	67.3376	70.0648	74.2219	77.9285	82.3581	90.3332	97.3341	109.1181	118.498	129.561	135.007	140.169	-140.169
110	-2.5753	-2.3263	-1.9600	-1.6449	-1.2816	-0.6745	0.0000	+0.6745	+1.2316	+1.6649	+1.9600	+2.3263	+2.5753

$n > 100$ のときは、手元にれた P に対する χ^2_0 の値は、表の下段の χ^2_0 を用いて、つきの式より計算する。

$$\chi^2_0 = \frac{1}{2} (\chi^2 + \sqrt{2n - 2})^2$$

3.5 船体運動よりの逆解析により求めた波スペクトル分布

三菱重工長崎研究所推進性能研究室 武 駿 克 義

箱根丸 27 次航の実船計測データ中より迎波航走時のピッキングのデータ 25 点を選び、そのスペクトル解析結果と規則波中応答特性の理論値とより波スペクトル分布を逆解析し、(1) 波スペクトル分布より得られる有義波高及び平均波周期等と船上での目測平均波高及び平均波周期等との比較 (2) ISSC スペクトル及び Neuman スペクトル分布等との比較及び (3) 波スペクトル分布のタイプの分類等を行なった。

迎波航走時のピッキングは応答特性の理論計算精度、波高に対する線型性及び実船計測値と推定値との対応の良さより、この種の検討に適していると思われる。なお追波航走時については 上記の内 波高に対する線型性以外はいずれも精度上問題があり、その上に出会い周波数より波周波数への変換の際の計算の複雑さ等より検討の対象としては適当ではないと思われる。

検討結果(1) 目測平均波高及び波周期との比較

逆解析波スペクトル分布より求めた有義波高は、目測平均波高に比べ若干大きな傾向はあるが (1)最大平均値程度が量的には合うが)、大小関係は比較的良好に対応する。又周期は Zero Crossing Period, Peak to Peak Period もいずれも目測平均周期に Comparable である。 Fig. 3.5-1～Fig. 3.5-5 参照。

検討結果(2) ISSC スペクトル分布及び Neuman スペクトル分布等との比較

逆解析波スペクトル分布と ISSC 及び Neuman 等の理論スペクトル分布との合いは悪く、傾向的に合うと言えるのは 25 例中の 1～2 例に過ぎない。この原因としては逆解析スペクトル分布を求める際の計算精度もあるが、理論スペクトル分布は海上の一点における長期観測により得られたものであるのに対し、今回求めたスペクトル分布は千変万化の海上を次々と移動しつつ、且つ計測時間も 10～20 分という計測結果より得られた Local なものであることが主な原因であり、このようなスペクトルの重なったものが ISSC あるいは Neuman のスペクトルのような形状となるのではないかと思われる。 Fig. 3.5-6～Fig. 3.5-10 参照。

検討結果(3) 逆解析波スペクトル分布のタイプ

逆解析波スペクトル分布は大略下記四種のタイプに分類出来る。

[B][C] のタイプが最も多い。又理論スペクトル分布に似ているのは [D] のタイプ。

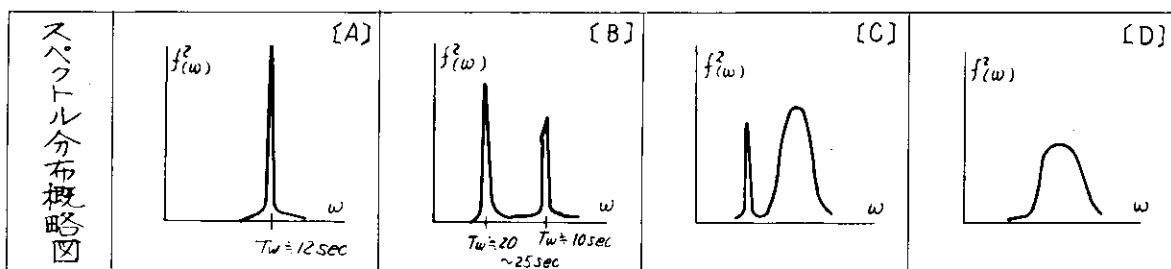


Fig. 3.5-6～3.5-10 図中記号説明

SW: 逆解析結果 SC 1: 目測波高、周期による ISSC スペクトル SNU: 風速による Neuman スペクトル SC 3: 逆解析有義波高、周期による ISSC スペクトル

Pitching の記録より逆解析した有義波高と
目測平均波高との比較図

(数字は Exp. No.)

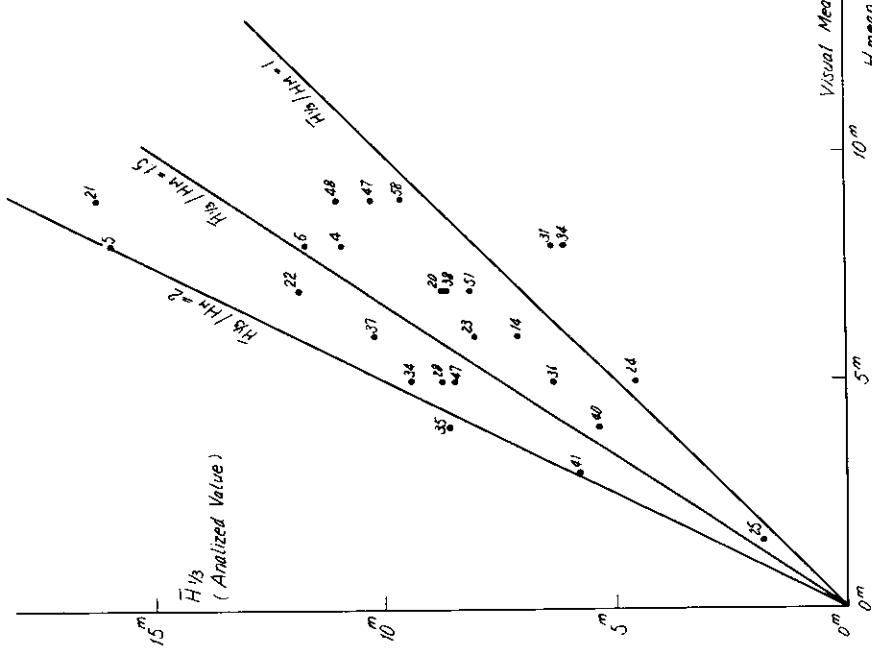


Fig. 3.5-1

Pitching の記録より逆解析した $\frac{1}{2}$ 最大平均波高と
目測平均波高との比較図

(数字は Exp. No.)

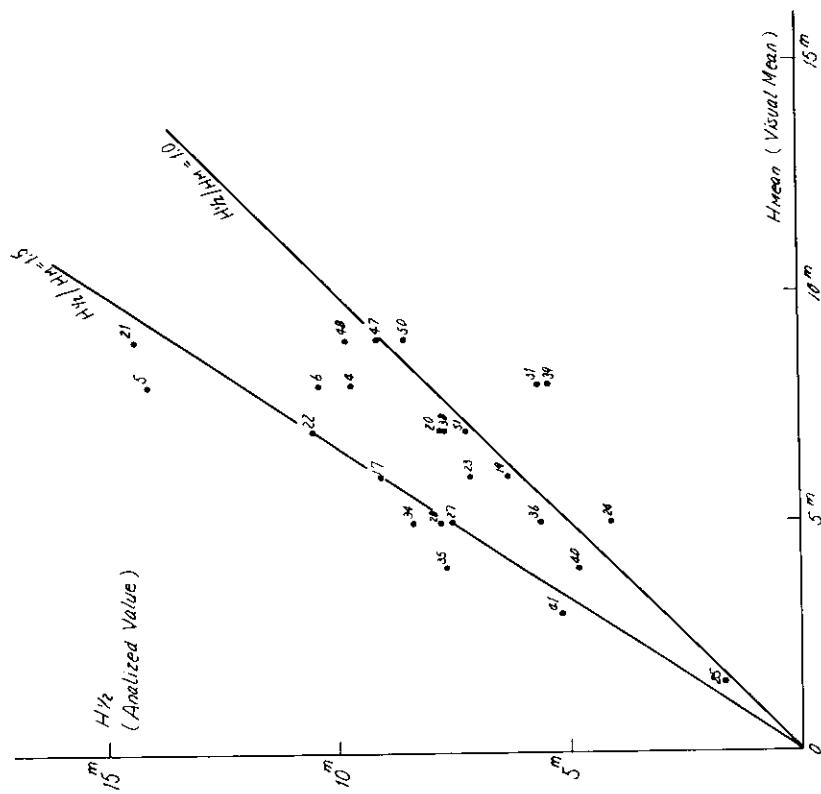


Fig. 3.5-2

Pitching の記録より逆解析した平均波高と

目測平均波高との比較図

Pitching の記録より逆解析したピーカ間周期 (\tilde{T}_p) と

目測平均周期との比較

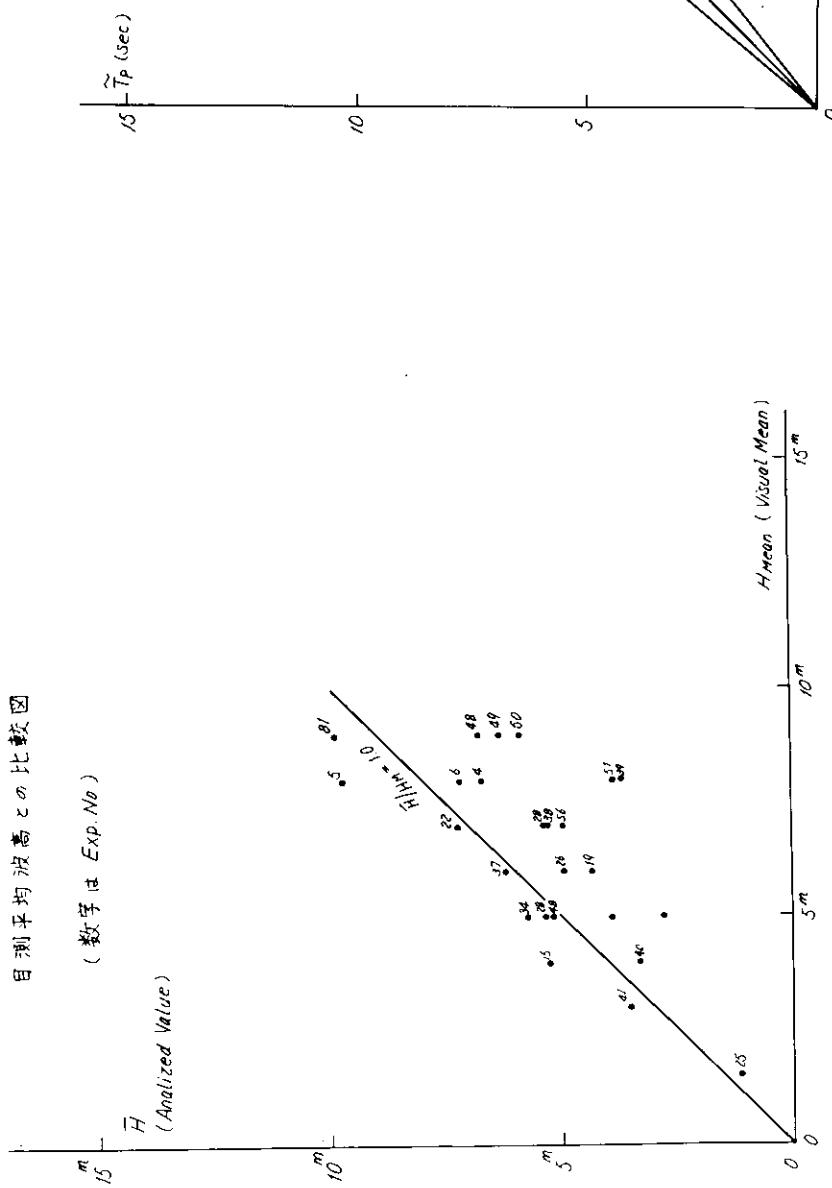
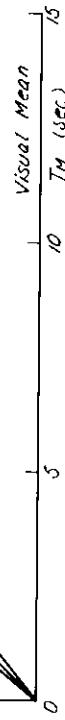


Fig. 3.5-3

Fig. 3.5-4



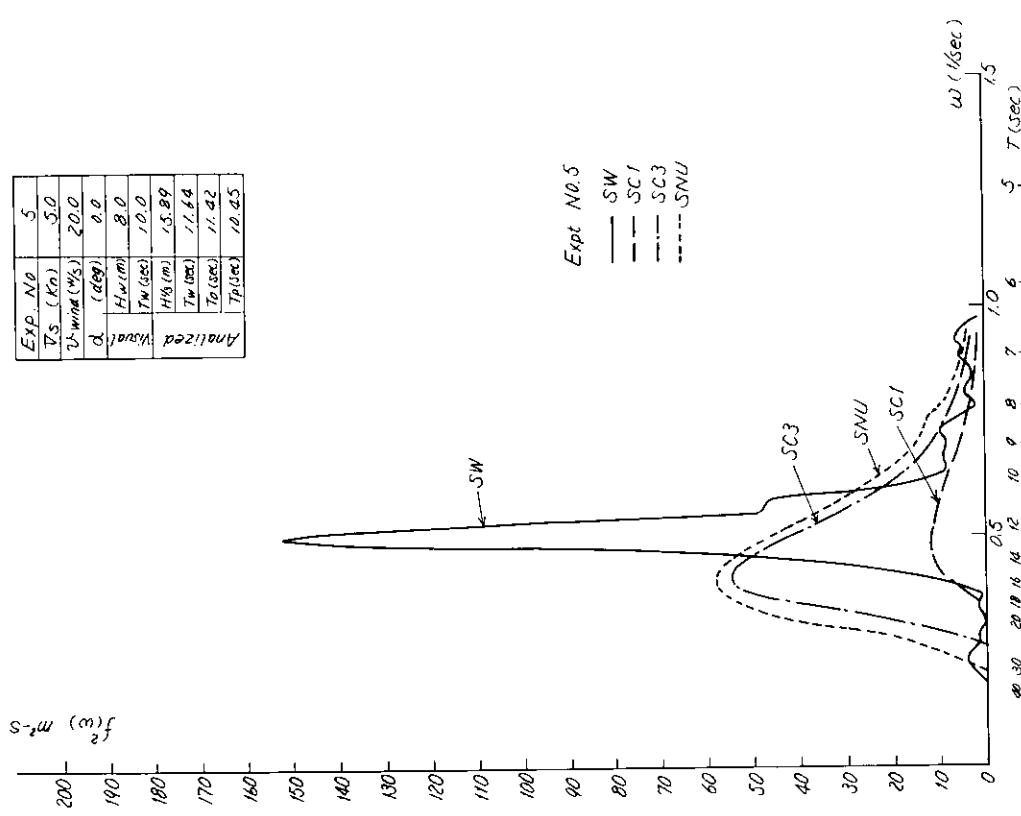
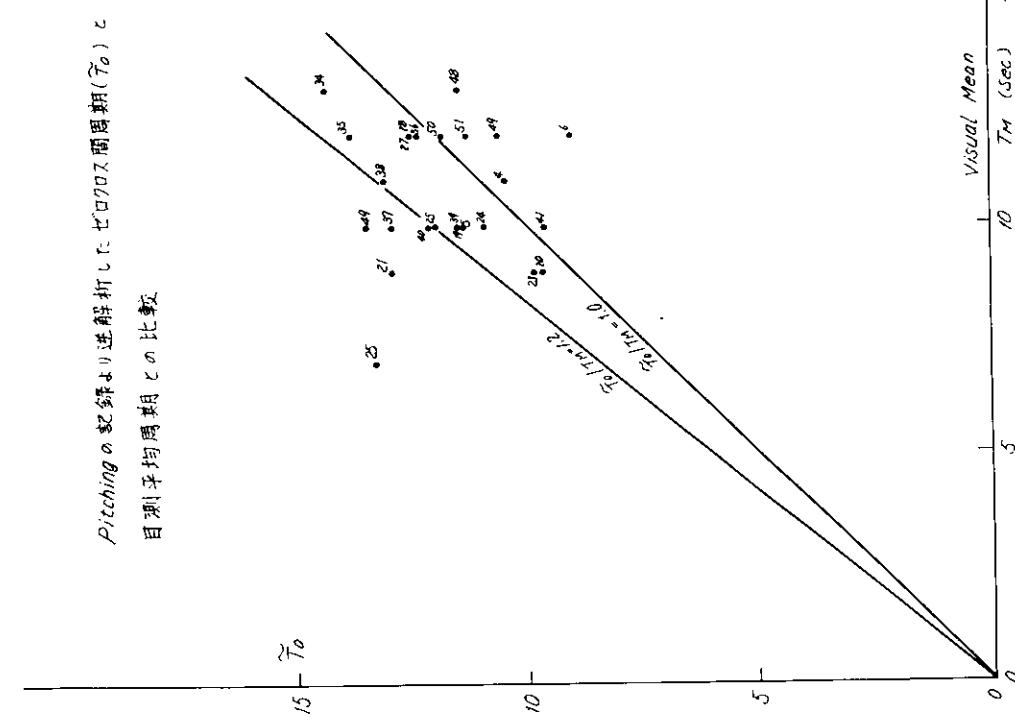


Fig. 3.5-6

Fig. 3.5-5

Fig. 35-7

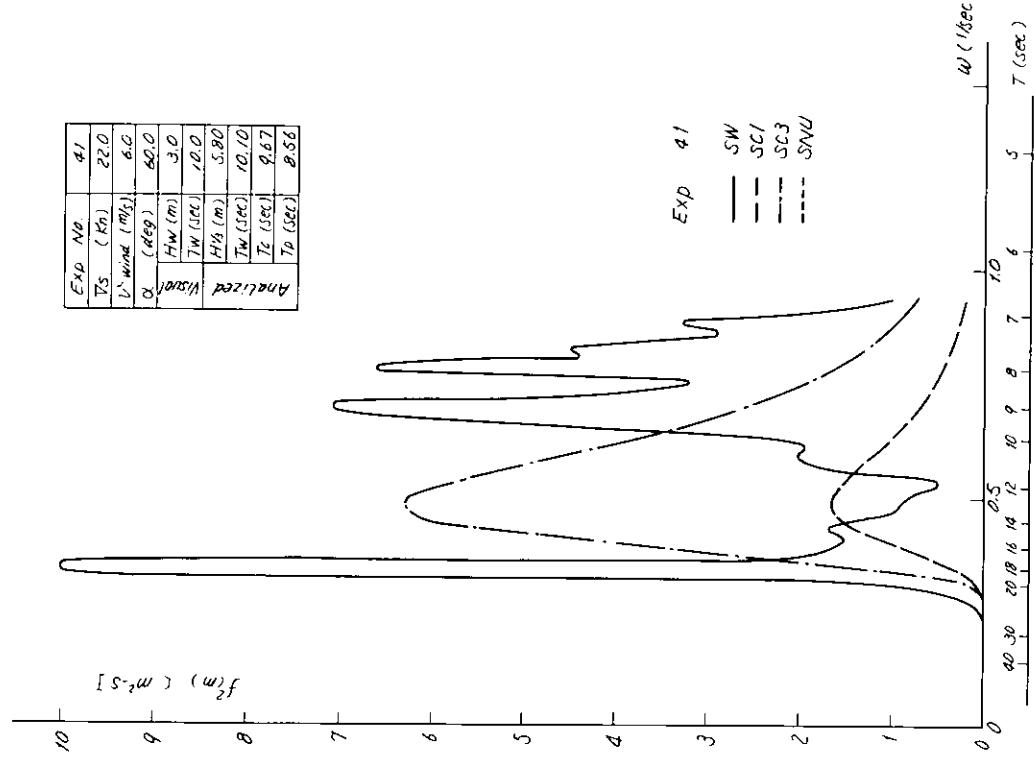
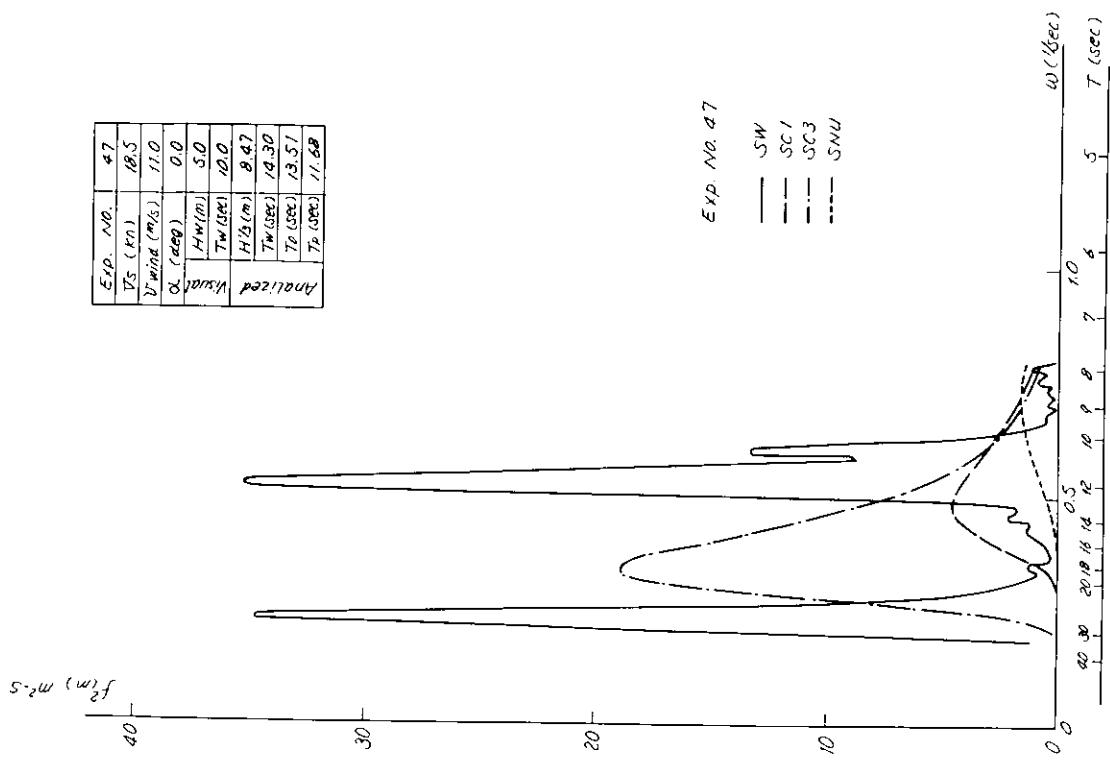


Fig. 35-8

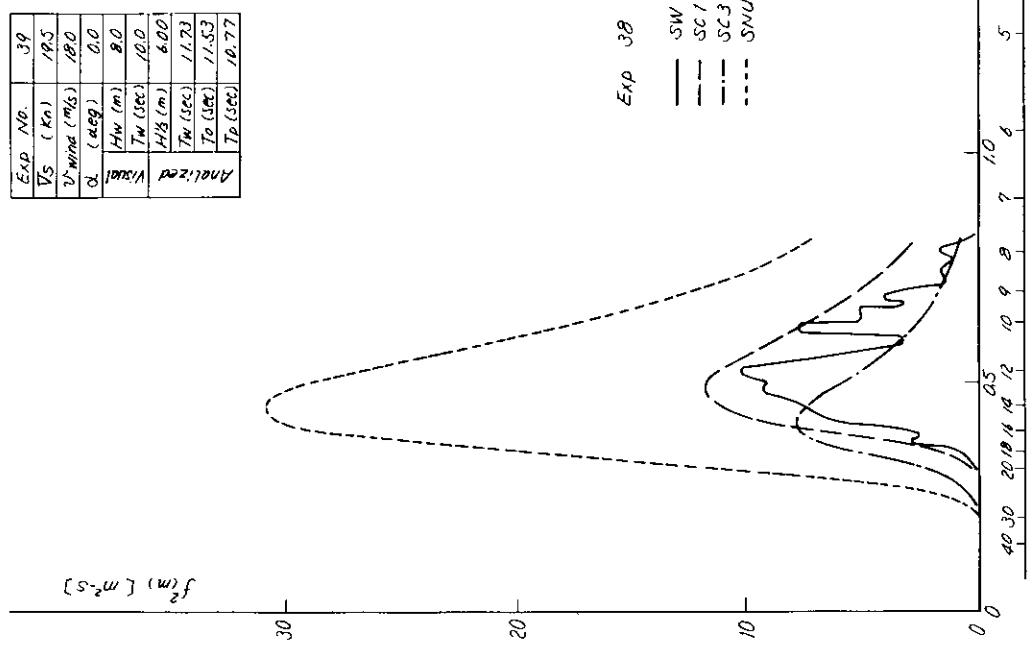
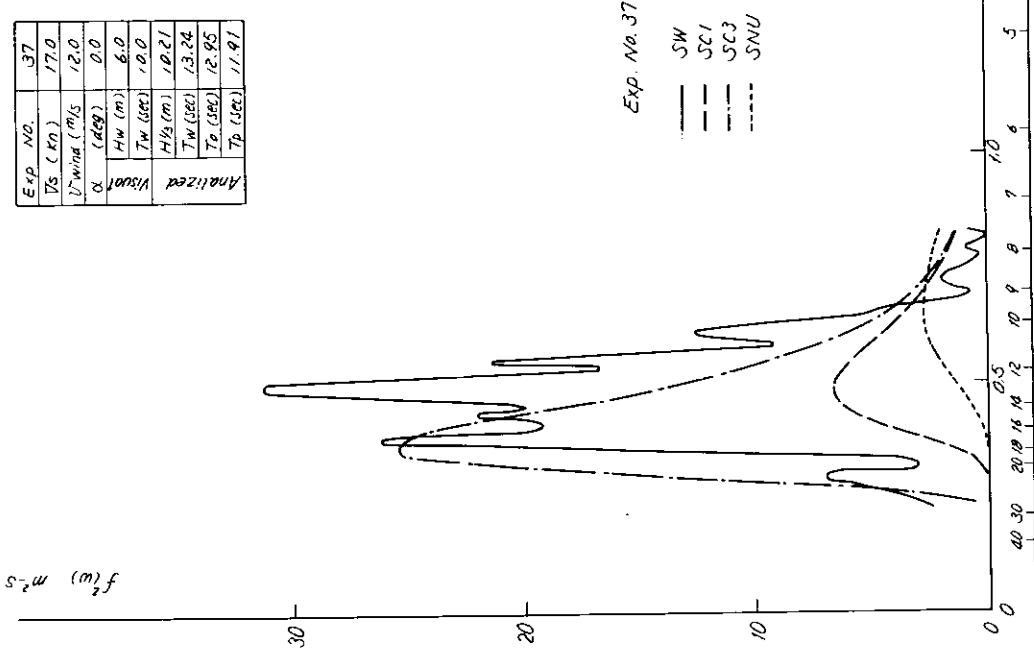


Fig. 3.5-9

Fig. 3.5-10

3.6 ピッチおよびロール

日立造船技研 雁野昌明

延べ9チームが乗船した6隻の船の航海期日をFig. 3.6-1に示す。以後、とくにことわらないかぎり、各チームごとの実験点の区別は同図に示した記号によって行なう。

9チームが体験した冬期(昭和45年11月始～昭和46年2月末)のPSW航路の海象状況をFig. 3.6-2とFig. 3.6-3に示す。目視による、この観測結果は、うねりと風波との区別をしたものではないので、どちらがとくに目に付いたかなど、各チームの観測者の個性による差がかなり含まれていると思われる。図中に山内¹⁾等が北太平洋の海象状況をとりまとめた結果の平均線を示す。冬期の観測結果のためか、波高は、山内の全平均線より上に観測点が多くある。また、風速が増せば波高も増す傾向にあるものの、データーのちらばりは大変大きい。ヒストグラムで見ると、波高2～4mが目立って多い。平均波周期は、データーのちらばりが波高の場合よりさらに大きい。これは、復航時に多く見られたように、風速がそれほど大きくないのに、大きくなれりがやってくるという現象も一因である。ヒストグラムで見ると波周期は10秒前後のものが多く観測されている。なお各チームの体験談を総合すると、昭和46年1月初旬の海象状態がもっとも激しいものであったと言える。

このような海象状況の中を航海し、1回15～20分の計測を1日2回程度行なったわけであるが、そのときの各船のピッチ・ロールの平均周期(極値から極値への平均 \bar{T}_m と0～クロスの平均 \bar{T}_o)はFig. 3.6-4とFig. 3.6-5のようであった。ピッチの場合、 \bar{T}_m はピッチの固有周期(約7秒)付近のものが多いが、 \bar{T}_o は船と波との出会い状態によって大きく変っている。全体的にみて、往航は横ないし追い波状態が多く、復航は、向え波状態の多いことが分る。ロールの場合、 \bar{T}_m が出会い周期の影響を大きく受け、 \bar{T}_o が固有周期の影響を大きく受けているようである。なおロールの固有周期 T_R は、往航、復航それぞれの平均 G_M と船幅 B から $T_R = 0.7 B / \sqrt{G_M}$ として推定したものである。

Fig. 3.6-6とFig. 3.6-7は、ISSCスペクトラム中を航行する場合のピッチ・ロールの平均周期をSR108 1軸船型に対し計算で求めたもので、その際、ロール固有周期 T_R は18秒とし、波は、出会いの主方向に対し \cos^2 分布をした短波頂不規則波を仮定している。計算では \bar{T}_o と \bar{T}_m がほぼ比例しているのに対し、計測結果をみるとピッチの向え波状態は計算値に近いが、追い波状態では \bar{T}_o が大きくなあって \bar{T}_m はそれほど大きくなっていない。ロールの場合 \bar{T}_m は計算値より小さくなる傾向が強い。計測値と計算値でこのような差がある理由としては、実海面では、波が主方向に対し \cos^2 分布とは異った分布をしていること、波スペクトラムがISSCスペクトラムと異っていること、が考えられる。

Fig. 3.6-8～Fig. 3.6-11は15～20分の計測中のピッチ・ロールの最大両振幅および有義両振幅を0～クロスの平均周期 \bar{T}_o ベースにプロットしたものである。ピッチは各船が経験した激しい向え波状態と、あめりか丸が経験した激しい追い波状態の2ヶ所にピークがある。ロールは各船の固有周期が15～20秒と異っていることに対応して、このあたりになだらかなピークがある。 \bar{T}_o のヒストグラムがなだらかなことも同じ理由による。振幅のヒストグラムからは、ピッチが往航と復航でそれほど差が認められないのに対し、ロールは往航の方が激しかったことが分る。

両振幅の最大値 H_{max} と平均値 \bar{H} との比を \bar{H} ベースでプロットしたものをFig. 3.6-12とFig. 3.6-13に示す。ピッチ・ロールの極大値がRayleigh分布に従うならば、N回に1回の最大期待値 $\$N$ と平均値 $\$1_1$ との比はTable 3.6-1のようになる。

Table 3.6-1

N	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
$\$N / \1_1	2.40	2.57	2.74	2.95	3.09	3.23	3.41	3.53

1回の計測時間を15分とし、ピッヂ周期8秒、ロール周期18秒とするとピッヂのNは112、ロールのNは50となり $\frac{S_N}{S_1}$ はそれぞれ2.6、2.4となる。一方、計測値の H_{max}/\bar{H} のヒストグラムでは、ピークは、ピッヂで2.4、ロールで2.2の付近にあり、ほぼ理論値と一致している。全体の傾向として、 \bar{H} が大きくなるほど H_{max}/\bar{H} の最大値が小さくなっているが、これは、 \bar{H} の小さい所は観測点が多いこと、 \bar{H} の大きな所では観測点が少ないと、激しい動揺をさけるため人為的に操船を行なう場合があることがその理由であろう。なお、観測値の約95%が $H_{max}/\bar{H} < 3.5$ であり、ピッヂ・ロールの \bar{H} が非常に小さくないかぎり、15~20分のいわゆる短期の計測では、 H_{max}/\bar{H} はせいぜい4程度と考えてよいであろう。

Fig. 3.6-14 と Fig. 3.6-15 は、各チームの往航時と復航時それぞれの最大両振幅を Gumbel²⁾ の極値統計確率紙上にプロットし平均線を引いたもので、図中'をつけたものは復航を示す。P SW航路に就航中のコンテナ船の片道の航海日数は約10日であるが、今回の計測は1日2回と少ないこと、チームによっては実験点の少ないところも有ったので、片道の航海における最大値を1週間の航海における最大値として Return Period を定めた。冬期に10週航海するとして、20年では冬期航海が200週となるが、平均線の延長で見るかぎり最大両振幅はピッヂが17°、ロールが48°であり、現在P SW航路に就航中のコンテナ船の一生におけるピッヂ・ロールの最大両振幅もこの程度であると思われる。

S R 108 1軸船型に対しては、平均波周期 T_v の短波頂不規則波中におけるピッヂ・ロールの有義両振幅と有義波高の比 $H_{1/3}/H_v$ がすでに計算されている³⁾ので、観測結果と比較して Fig. 3.6-16 ~ Fig. 3.6-21に示す。全然オーダー違いというデーターは少ないが、ばらつきは相当大きい。この原因としては、短波頂不規則波が、計算で仮定した COS^2 分布と異なること、波スペクトラムがISSCスペクトラムと異なることも考えられるが、一番大きな原因是、目視による波浪観測の不確かさである。波高は、3m以下の場合0.5m間隔で、3m以上の場合1m間隔で記録されている例が大多数で、波高の低い場合0.5mとするか1mとするかで $H_{1/3}/H_v$ にたちまち2倍のひらきが出来る。また、動揺がうねりによって起っている場合でも、波浪としては風波を観測するといった場合もある。このようなことを考慮すれば、今回の観測値のばらつきはやむを得ないと思う。

参考文献

- 1) Yamanouchi Y. and A. Ogawa : "Statistical Diagrams on the Winds and Waves on the North Pacific Ocean", papers of Ship Research Institute, March 1970
- 2) Gumbel E. J. : "Statistics of Extremes", (邦訳) 広川書店, 1963
- 3) 元良誠三他 : "高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究", 日本造船研究協会報告書, 研究資料 No 125, 昭和46年3月

Date of Voyage (From/to TOKYO to //From LOS ANGELS)

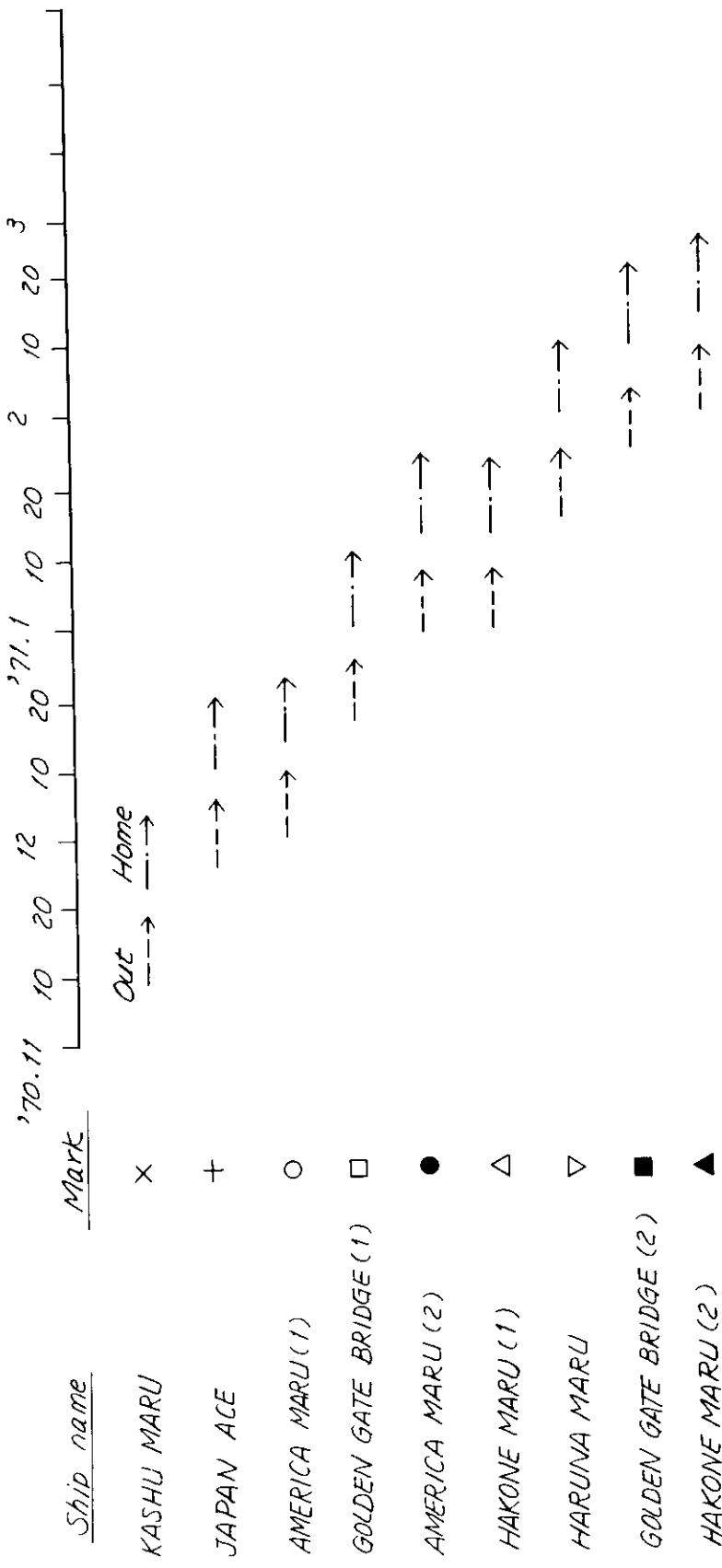


Fig. 3.6-1

Wind Velocity ~ Wave Height

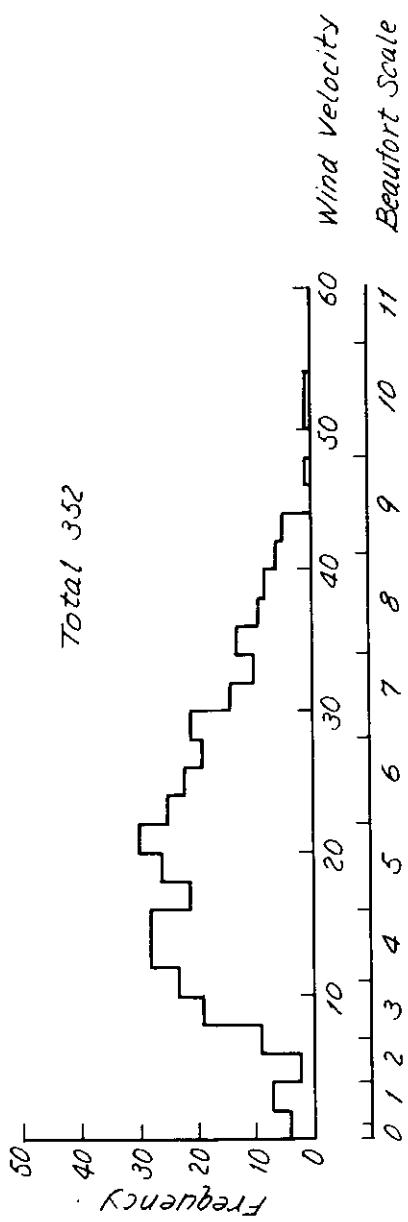
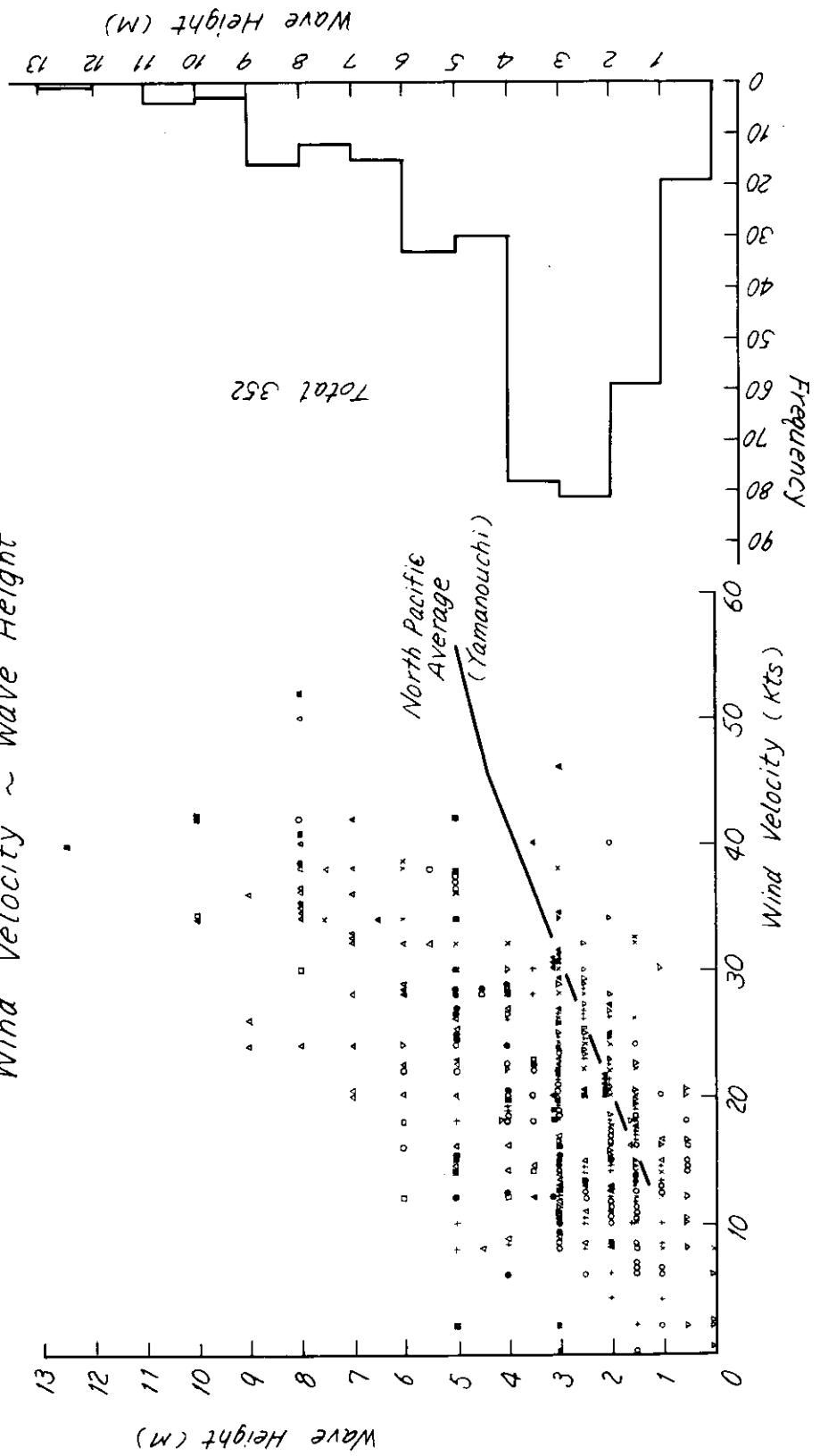


Fig. 3.6-2

Wind Velocity ~ Wave Period

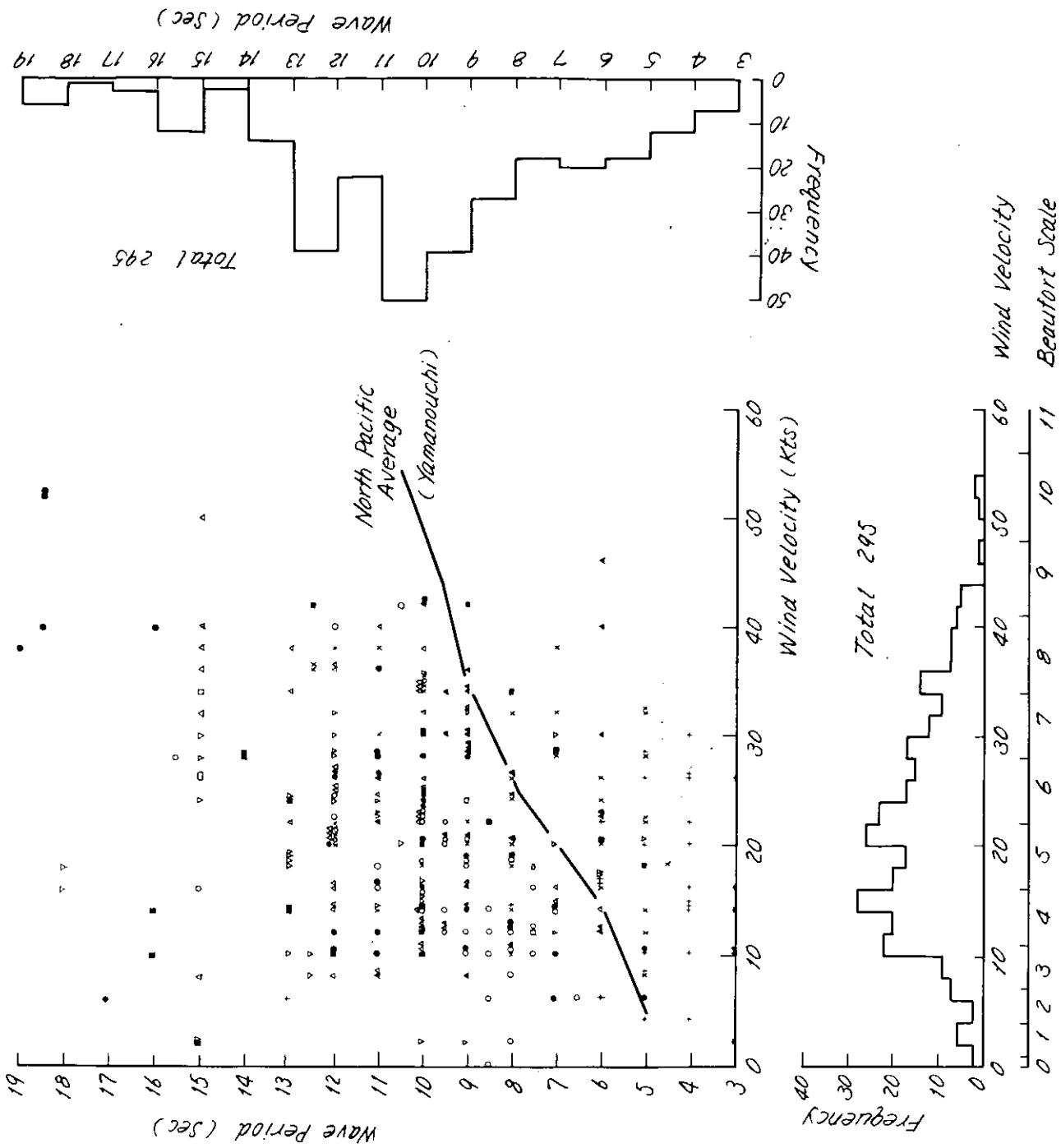


Fig. 3.6-3

Pitch Period

\bar{T}_m : Peak to Peak Mean (sec)

\bar{T}_0 : O-Cross Mean (sec)

\circ : out Ward
 \times : Home Ward

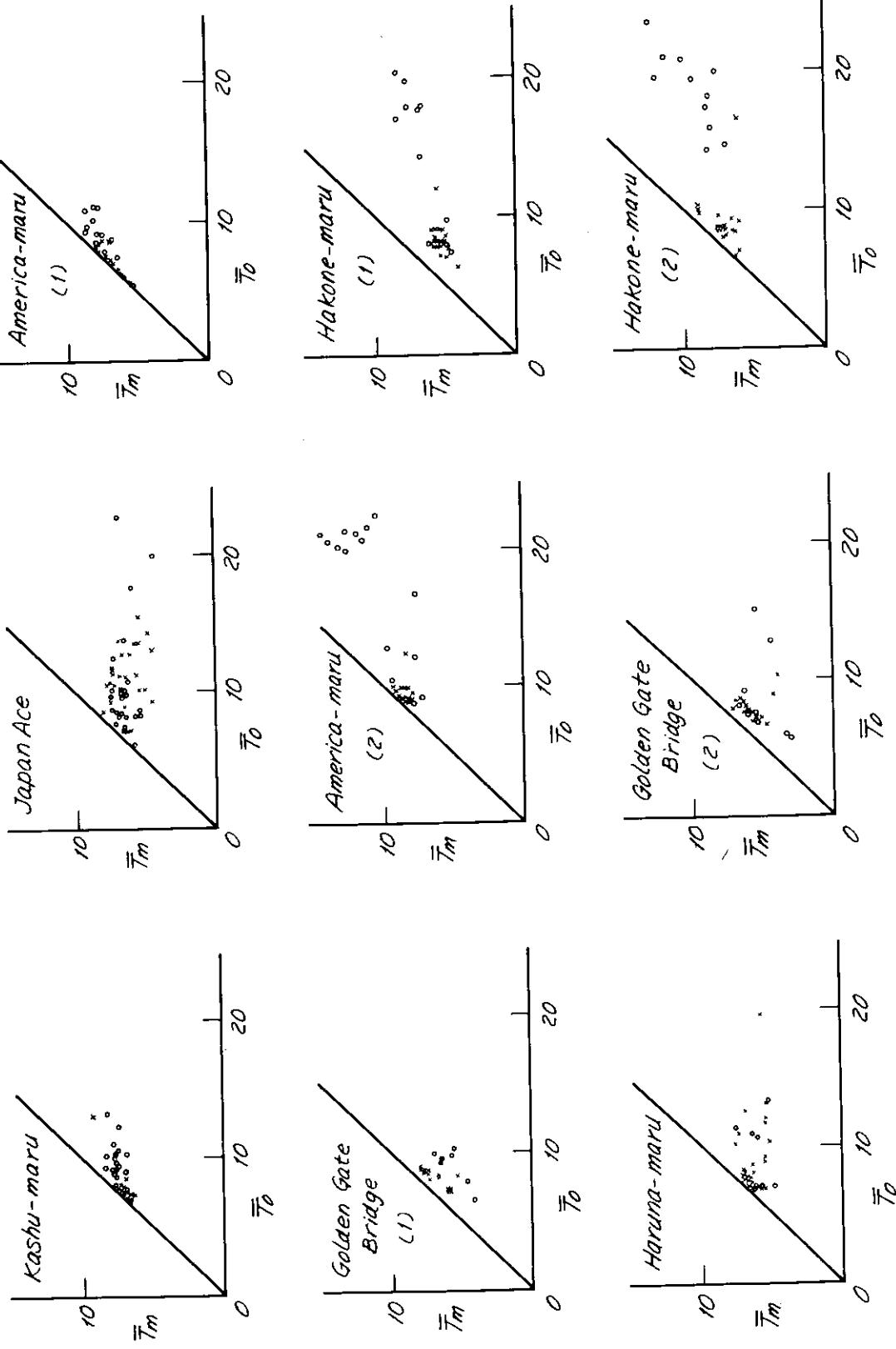


Fig. 3.6-4

Roll Period

\bar{T}_m : Peak to Peak Mean (sec)
 \bar{T}_o : O-Cross Mean (sec)

O : Out Ward
X : Home Ward
Natural Period

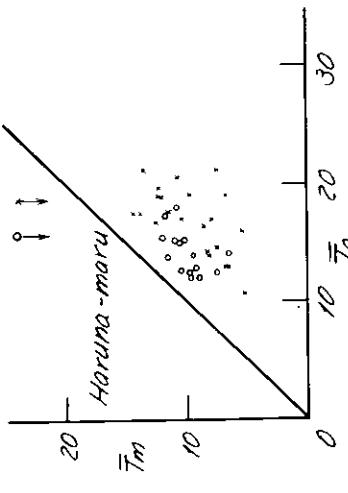
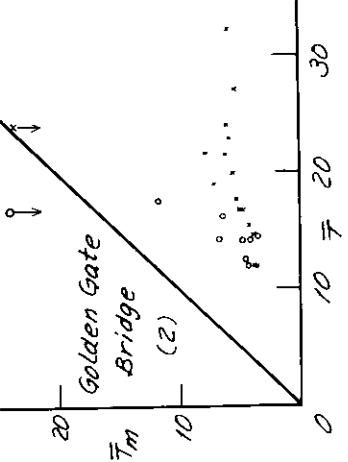
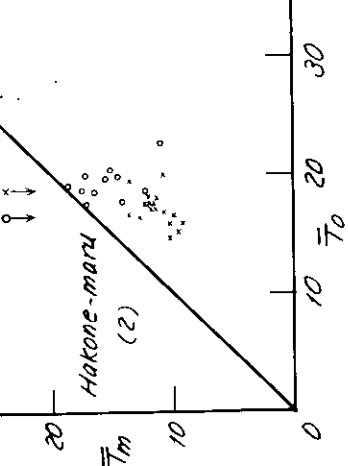
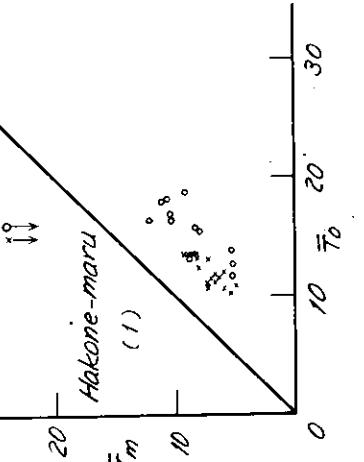
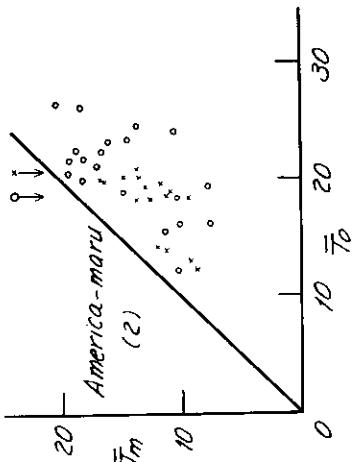
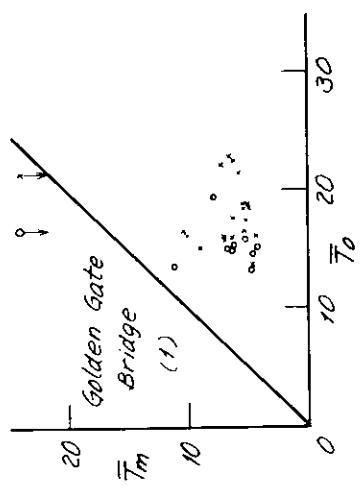
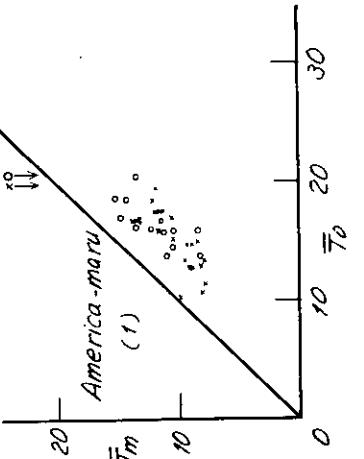
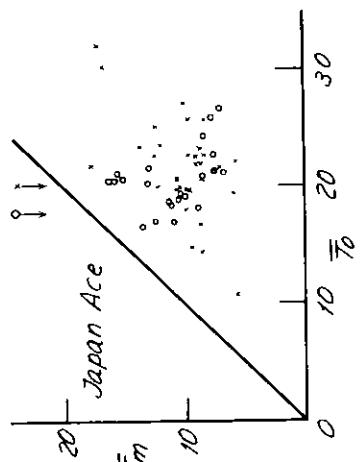
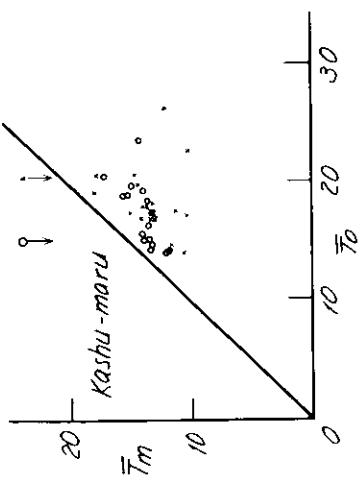


Fig. 3.6-5

Pitch Period (calculation) $F_n = 0.25$

\bar{T}_m : Peak to Peak mean (Sec)

\bar{T}_o : 0-cross mean (Sec)

T_v : Wave Period (Sec) ----- Short Crested Waves

χ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
mark	○	△	□	×	●	▲	■
follow	Beam						Head

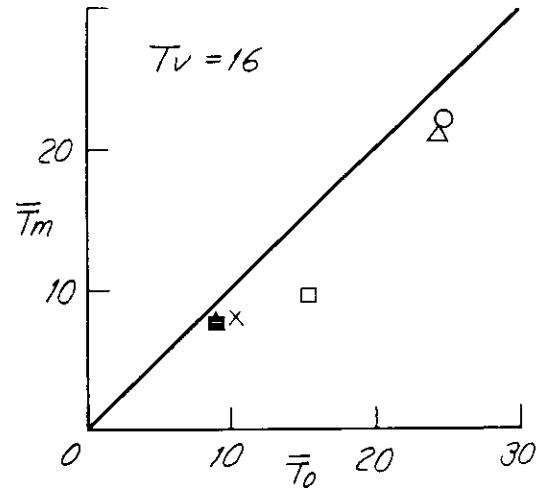
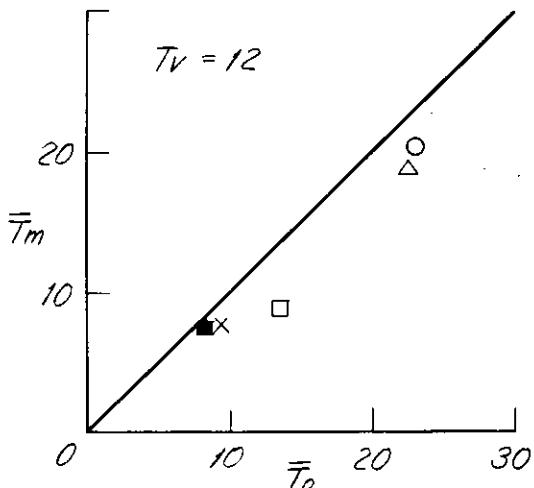
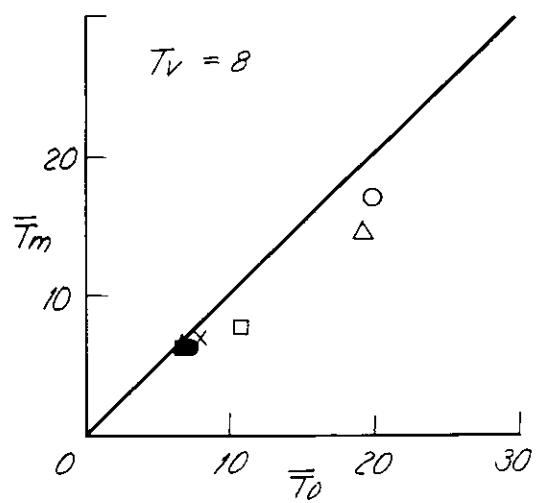
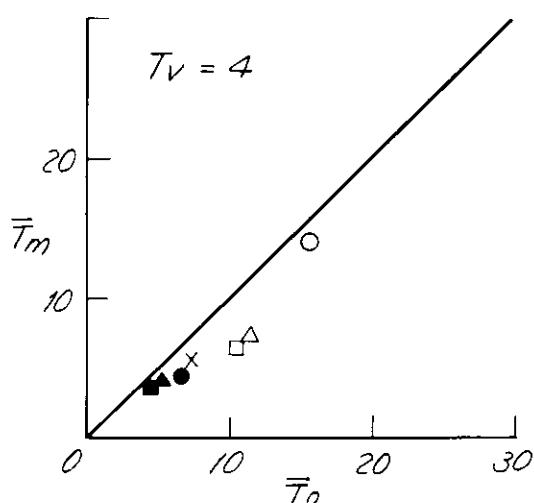


Fig. 3.6-6

Roll Period (calculation) $F_n = 0.25$

\bar{T}_m : Peak to Peak mean (Sec)

\bar{T}_0 : 0-Cross mean (Sec)

T_V : Wave Period (Sec) ----- Short Crested Waves

χ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
Mark	○	△	□	×	●	▲	■
Follow						Beam	

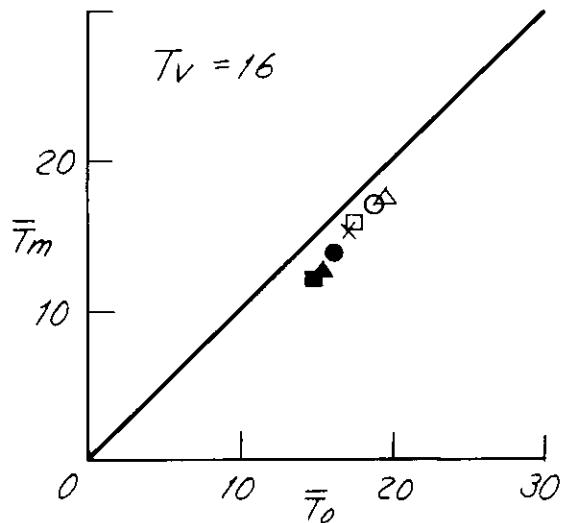
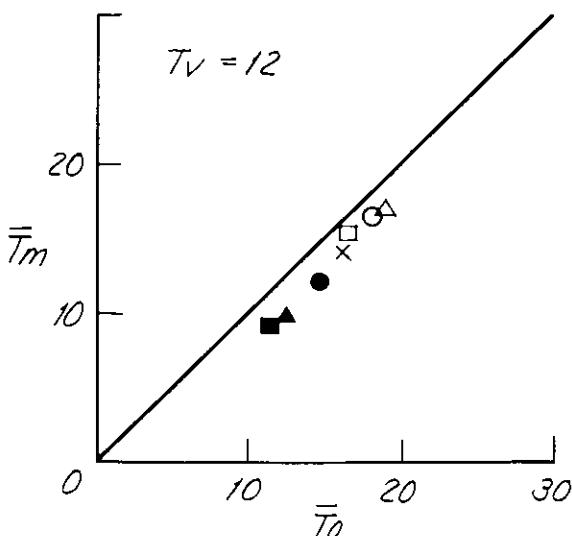
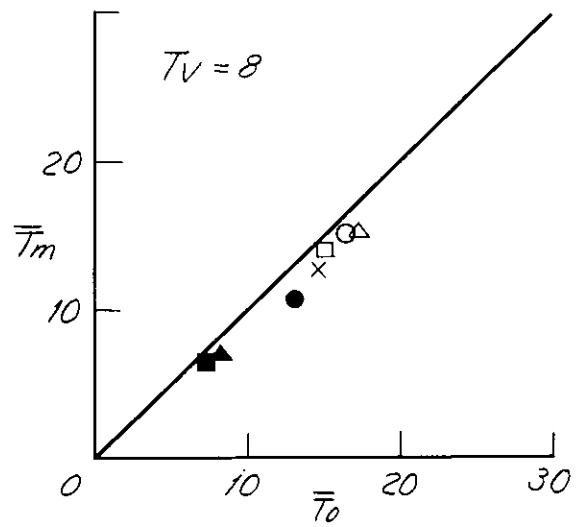
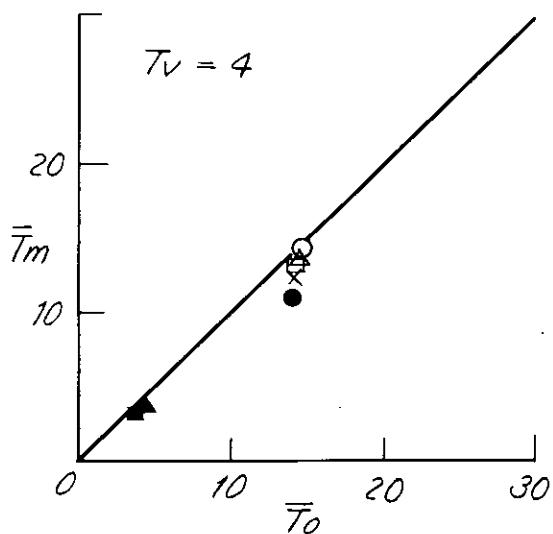


Fig. 36-7

Pitch Max.
(Double Amp.)

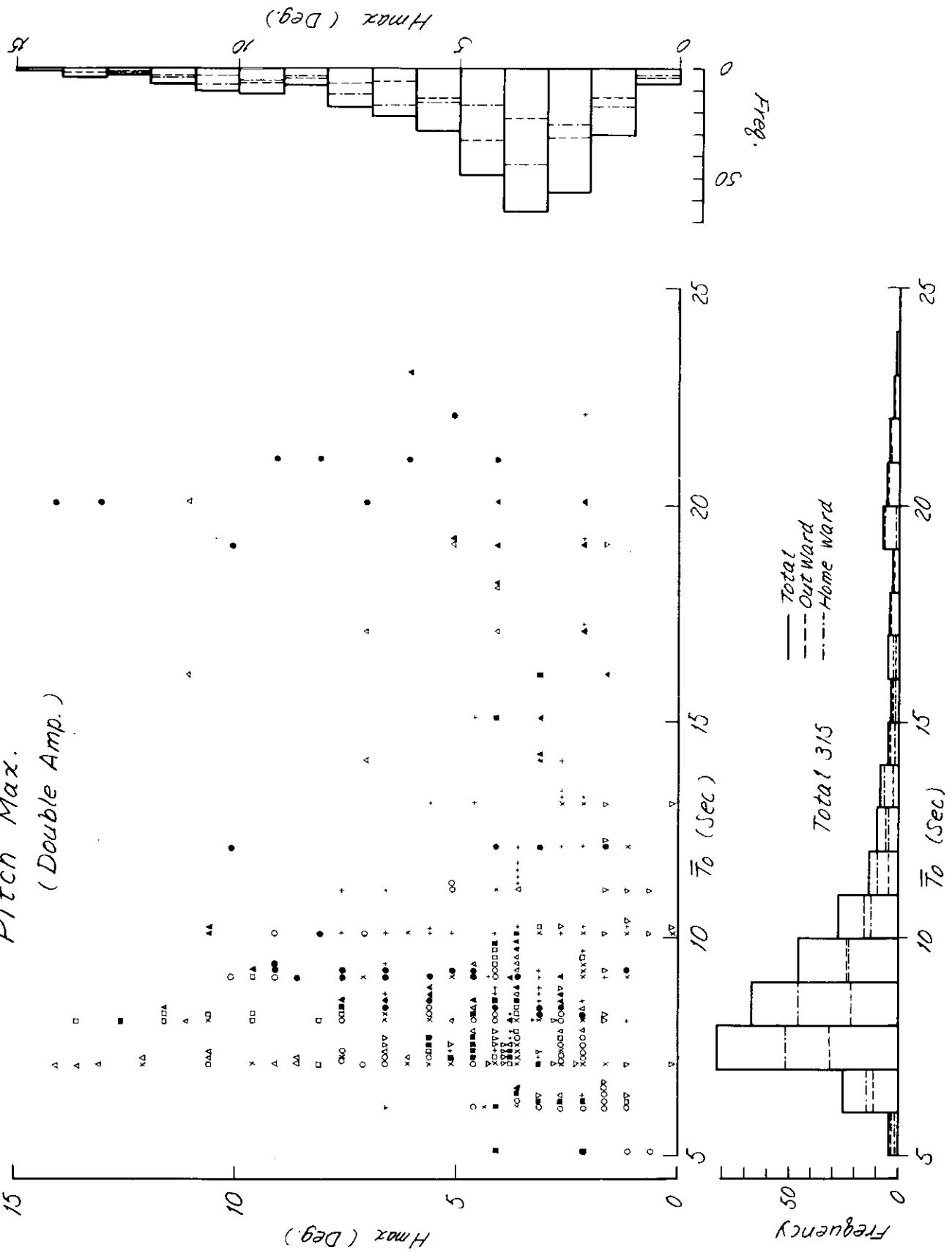


Fig. 3.6-8.

$Roll, H_{max} \sim \bar{T}_0$
 (Double Amp.)

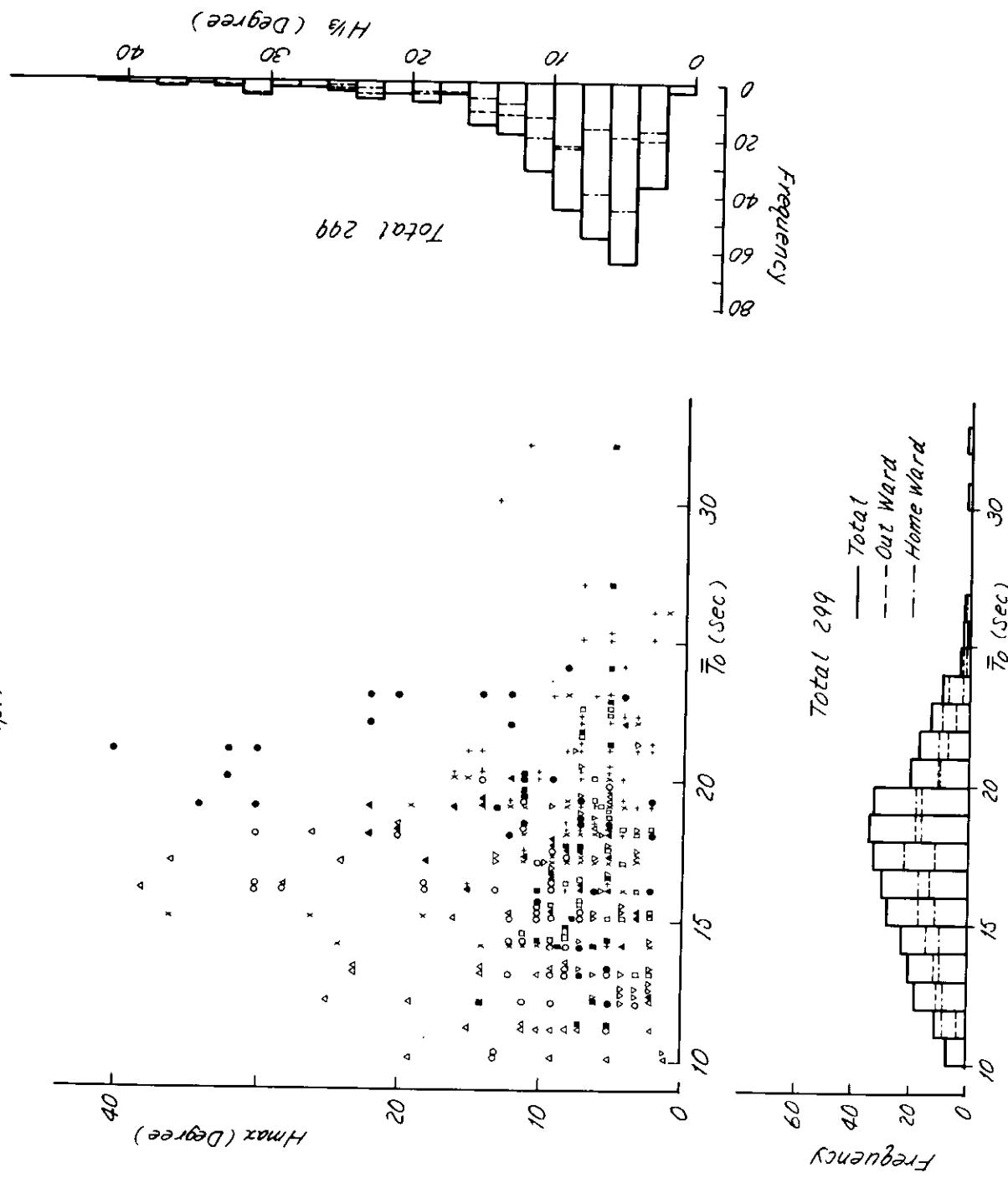


Fig. 3.6-9

Pitch $H^{1/3}$
 (Double Amp.)

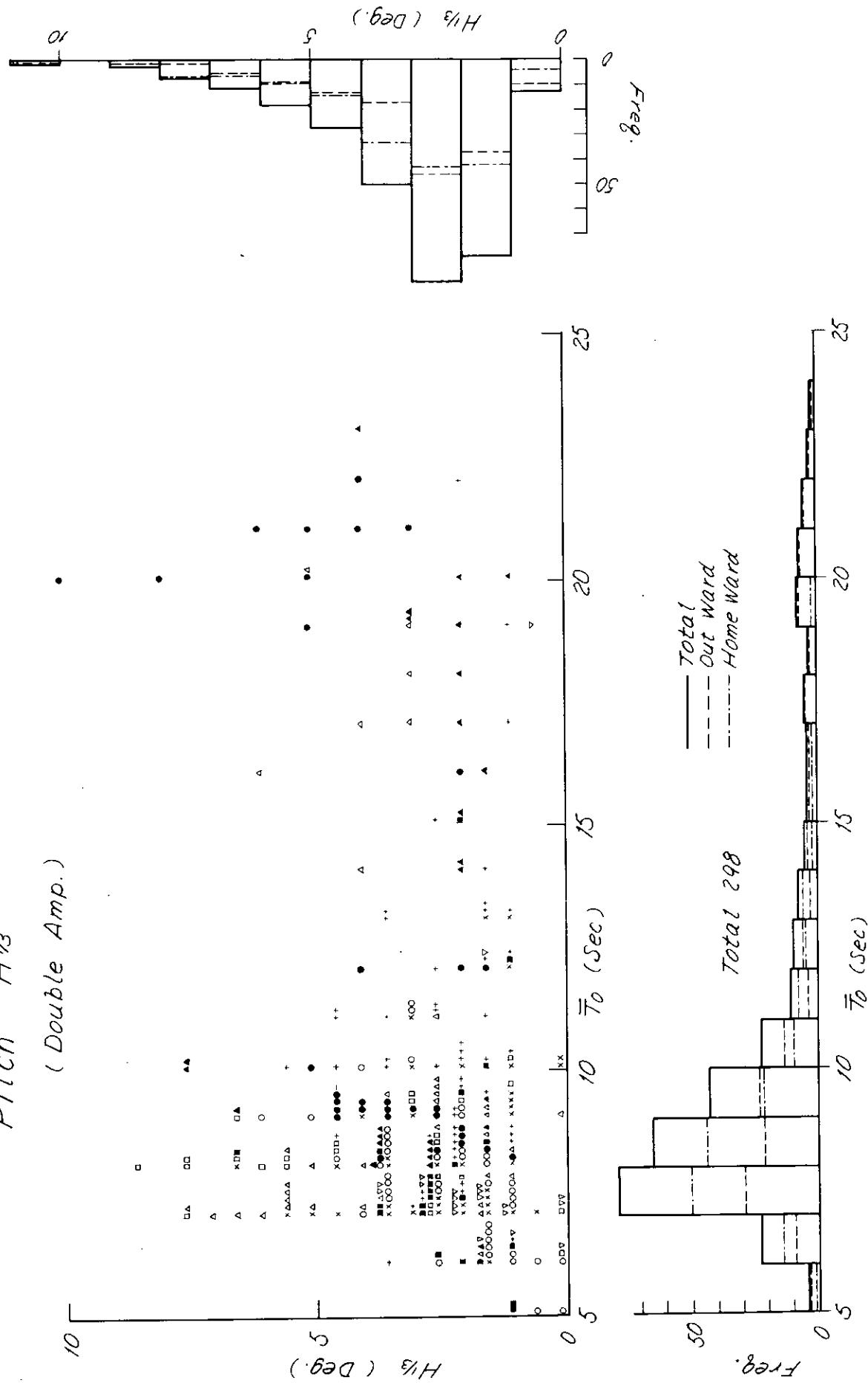


Fig. 3.6 - 10

Roll $H_{13} \sim \bar{\tau}_0$
 (Double Amp.)

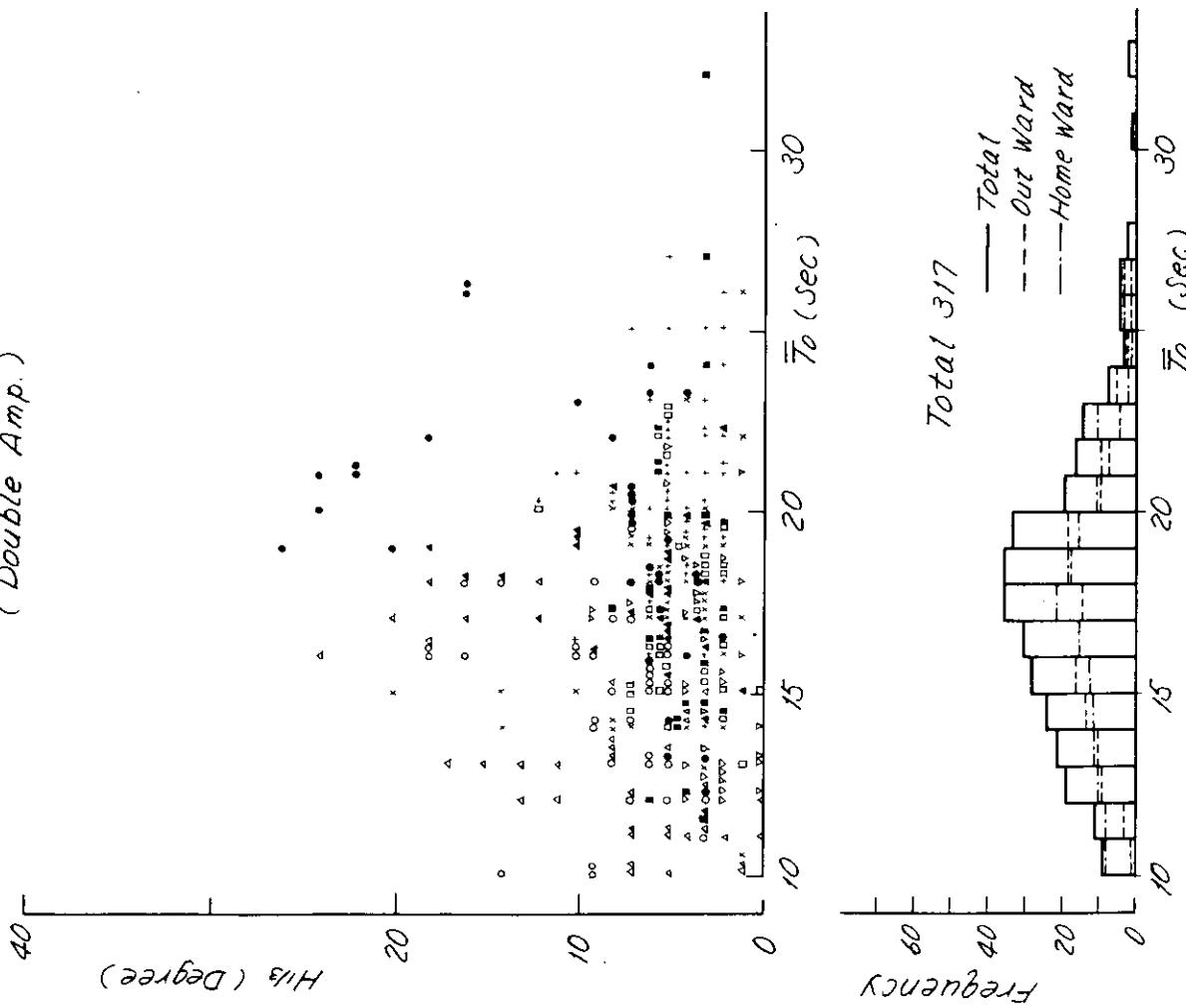


Fig. 3.6-11

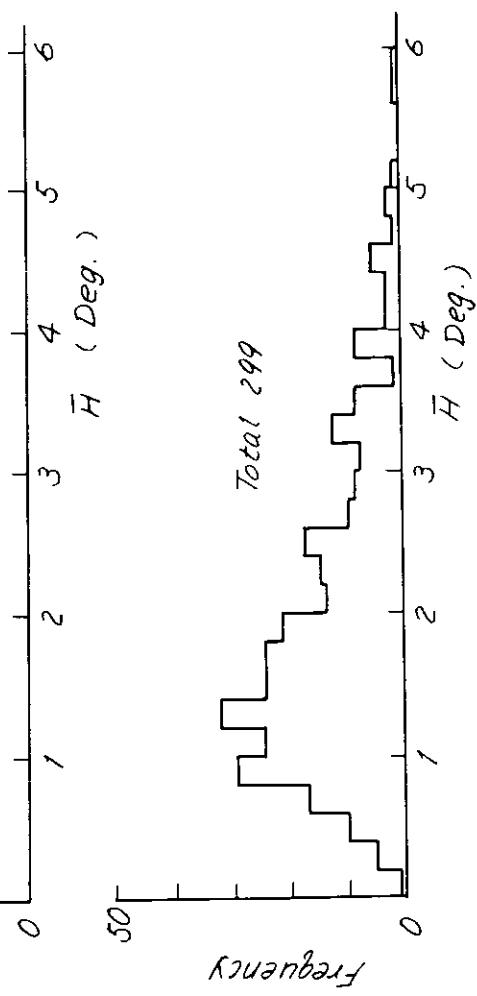
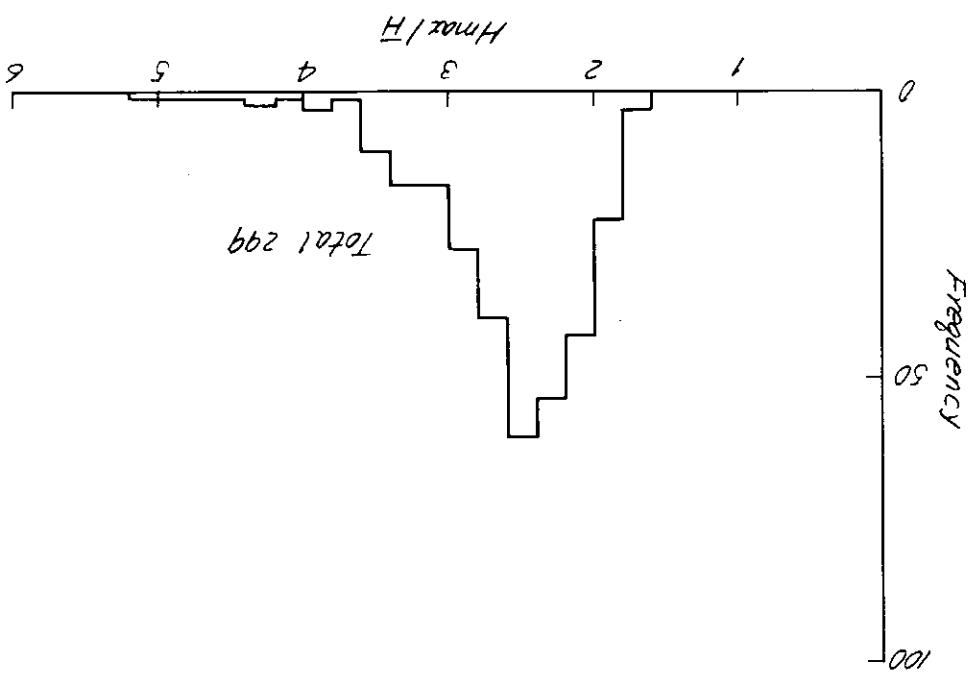
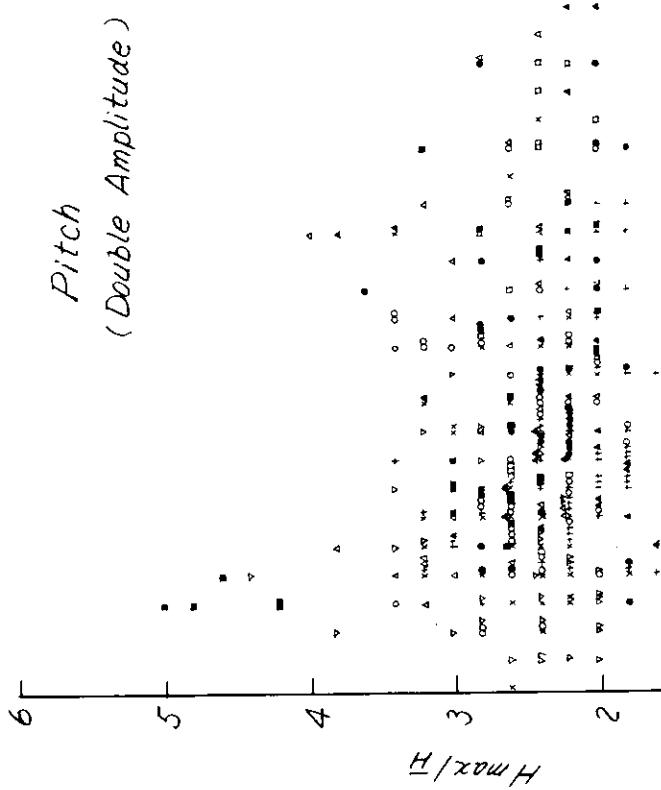


Fig. 3.6-12

Roll
(Double Amplitude)

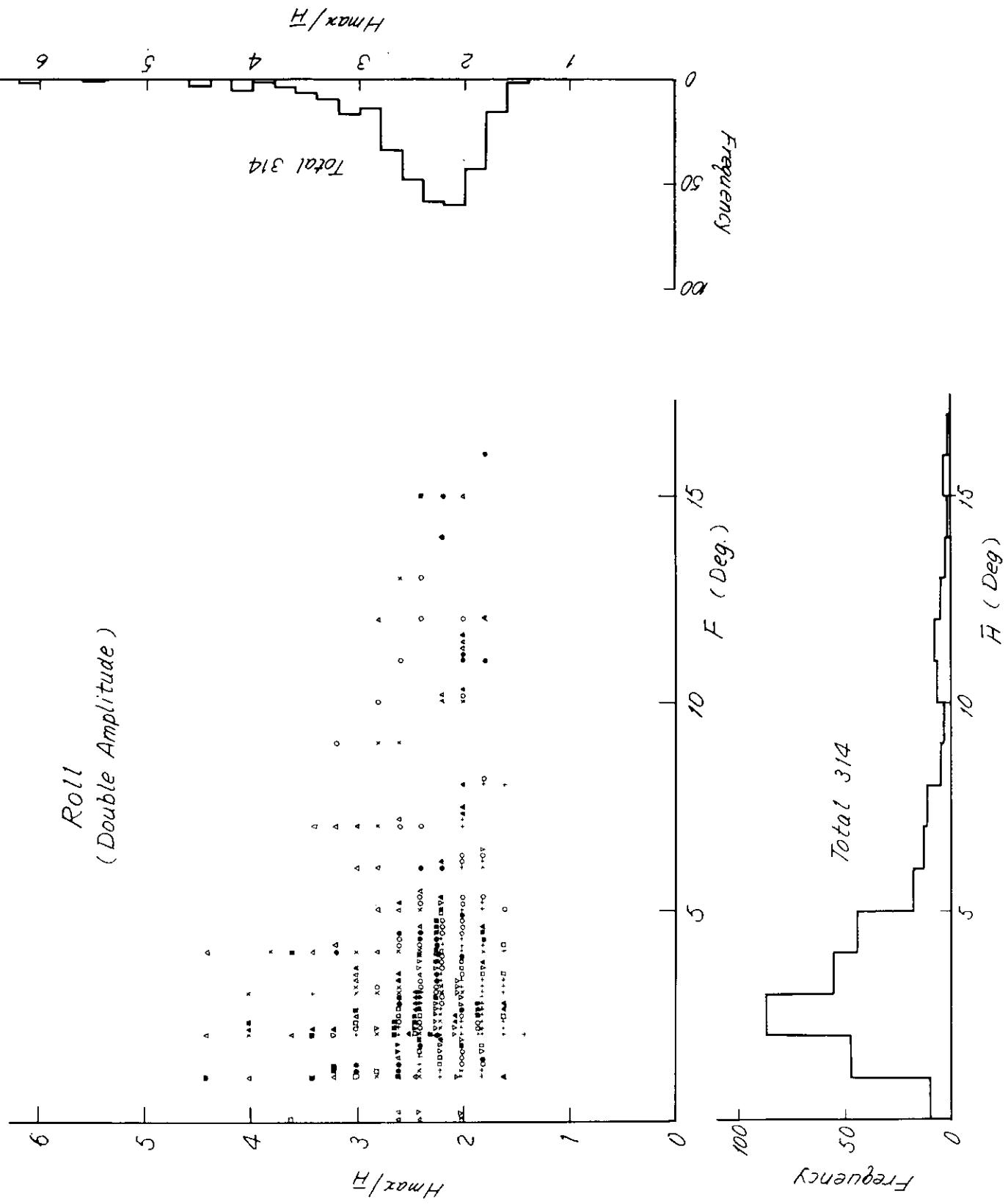


Fig. 3.6 -- 13

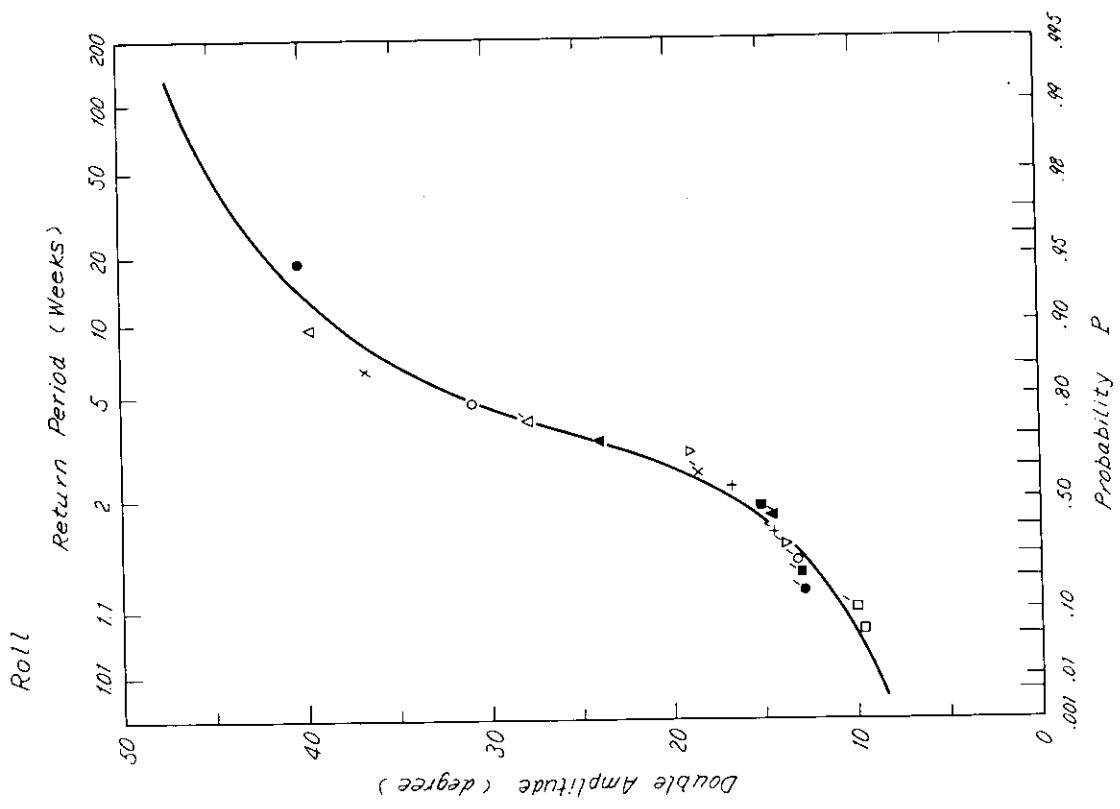


Fig. 3.6-15

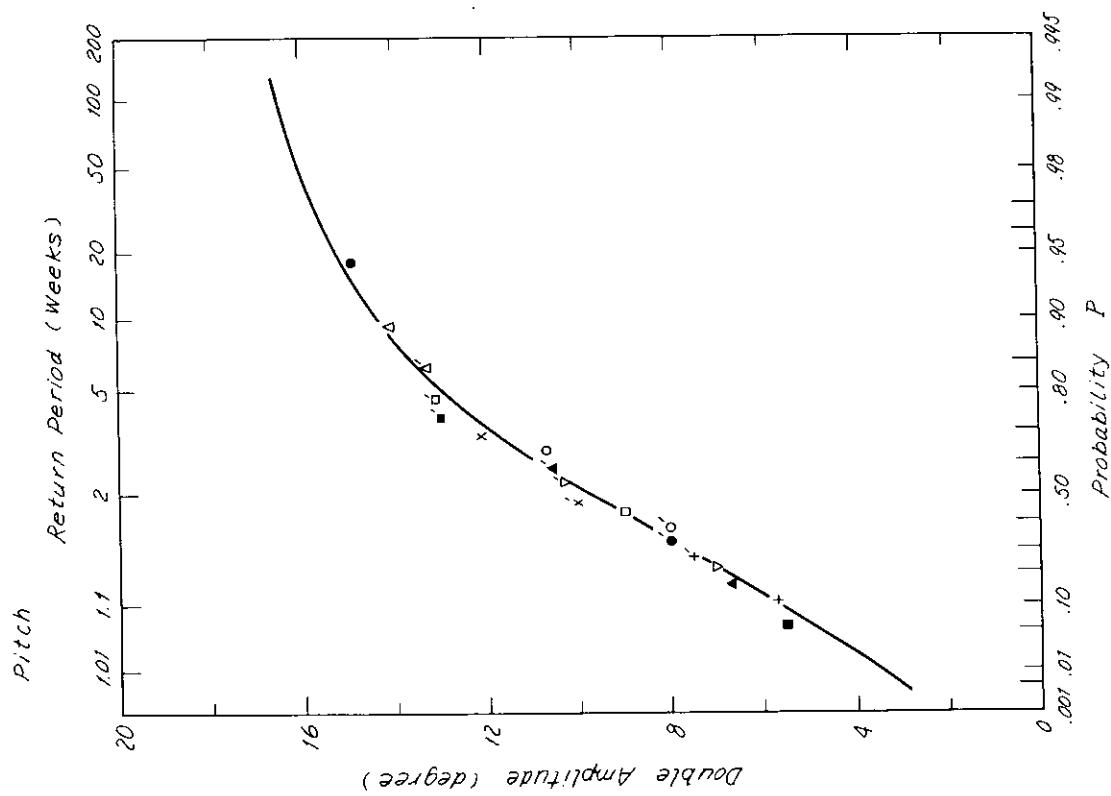


Fig. 3.6-14

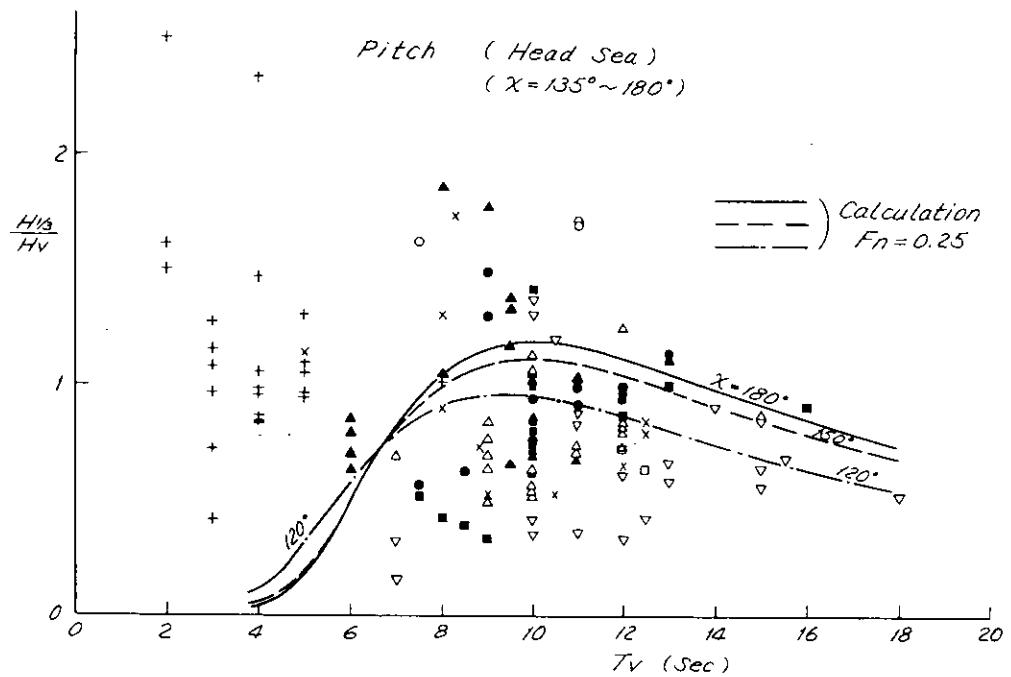


Fig. 3.6-16

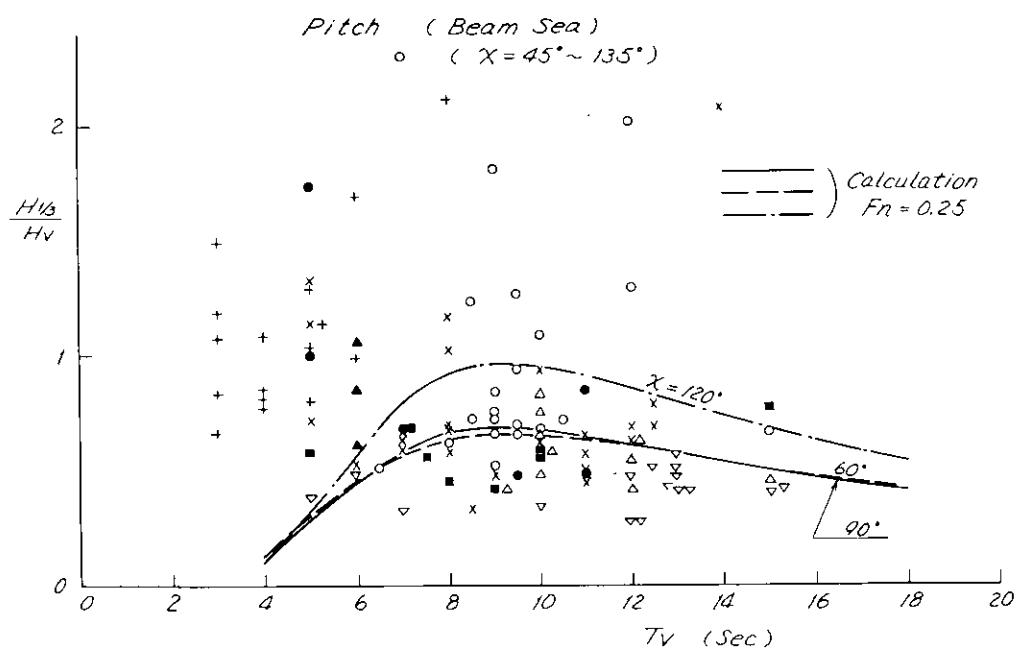


Fig. 3.6-17

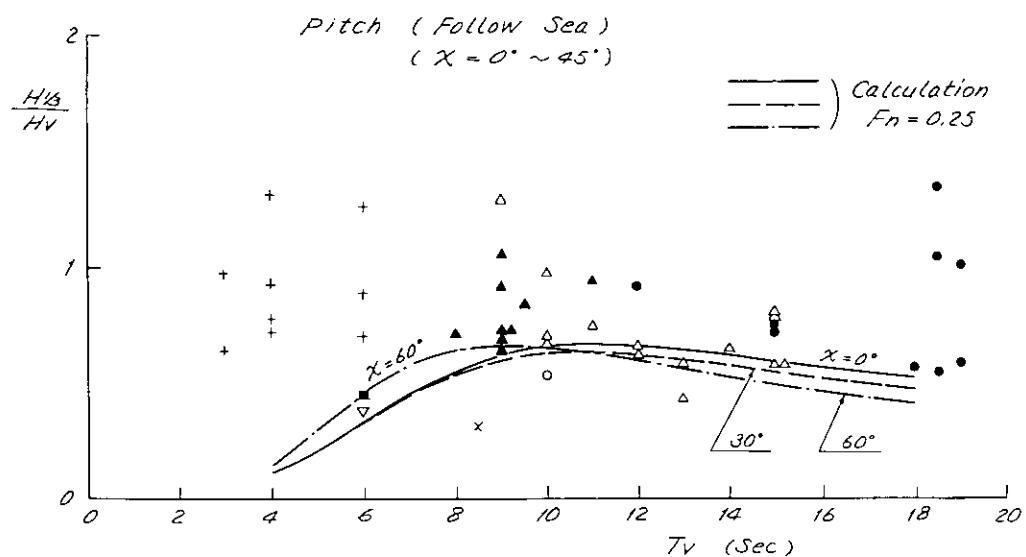


Fig. 36-18

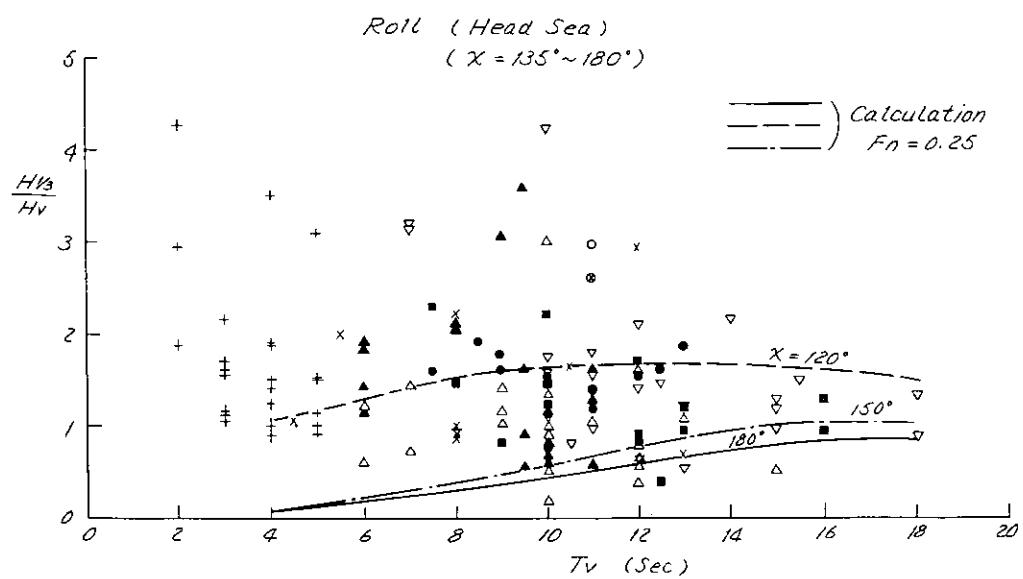


Fig. 3.6-19

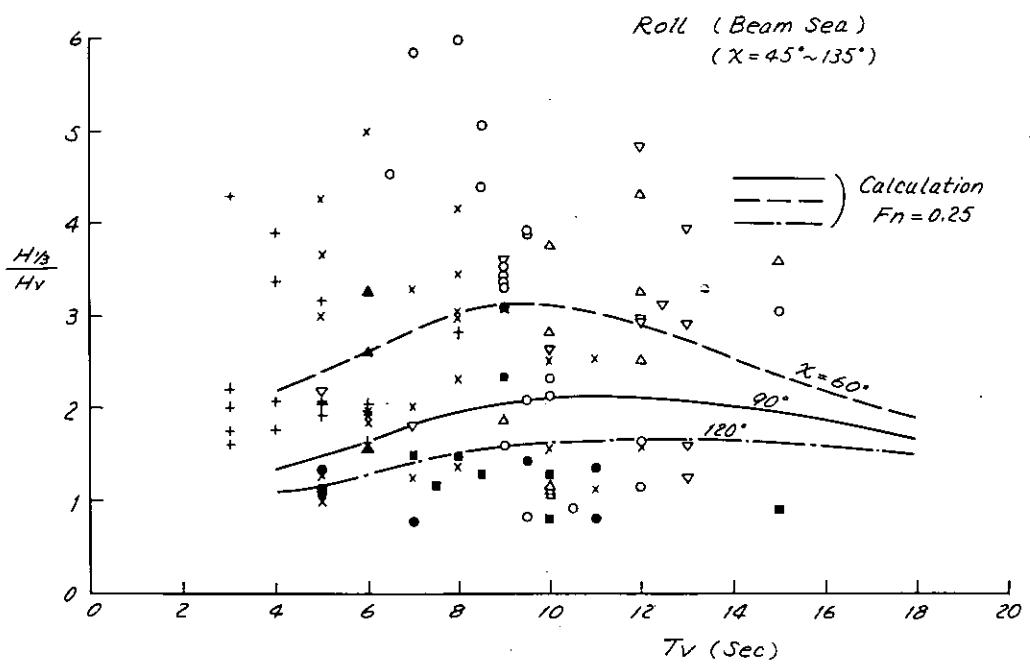


Fig. 3.6-20

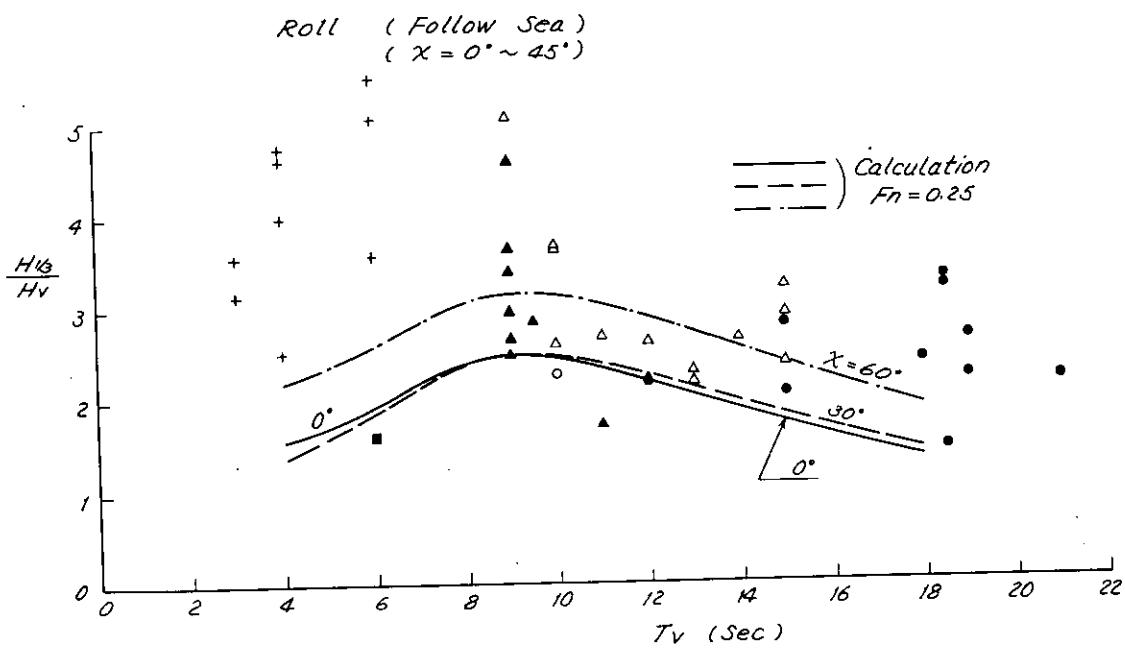


Fig. 3.6-21

3.7 船首上下、左右加速度

住友重機械工業 福原正彦

船体の動揺によって生ずる加速度は、船体構造、機器等の強度を考える場合、あるいは貨物の保護という事を考える場合に重要なファクターであるが、普通は船首における値をもって代表させる場合が多く、ここでも船首の上下、左右加速度について調べてみる。

まず、冬期北太平洋において、どのくらいの大きさの加速度がどのくらいの頻度で発生するかを調べたのが Fig. 3.7-1～Fig. 3.7-4 である。観測数が少ないのでヒストグラムの凹凸が目立つが、およその様子は推定可能である。Fig. 3.7-5 は対数正規確率紙に船首加速度の有義値と最大値をプロットしたものである。一般に船体応答の有義値の長期分布は対数正規分布になるとと言われており、グラフは直線となるはずであるが、図を見るとゆるやかなカーブになっているようである。ただし、観測数が少い事を考慮すると、対数正規分布の妥当性についてここで結論を下すのはむづかしい。

次に、線型ストリップ法と I.S.S.C のスペクトラムを用いて理論計算によって推定した船首上下加速度の有義値と、今回の実船試験で得られた有義値を比較してみる。Fig. 3.7-6～Fig. 3.7-8 は半振幅の有義値を全波高で割った値を平均波周期に対してプロットしたもので、統計解析による有義値と目測の波高、波周期を用いた。また、図中に記入した曲線は、船速の平均値に近いと思われる $F_n = 0.25$ に対する理論値である。BEAM WAVE の場合には、理論値の幅が広いために一見したところ実験値とよく一致しているようであるが、HEAD WAVE の場合を見るとばらつきの大きいのがわかる。これは波の目視観測にあいまいさがあるのと、実海面のスペクトラムが I.S.S.C のスペクトラムと必ずしも一致しないのが主な原因と思われる。しかしながら全体的に見た場合、オーダーとしてはよく合っている事が確認された。

船体応答の極値の短期分布が Rayleigh 分布に従うものと仮定すると、その平均値 \bar{H} と有義値 $H_{1/3}$ 、最大平均値 $H_{1/0}$ との間には次の関係がある。

$$H_{1/3} = 1.60 \bar{H}$$

$$H_{1/0} = 2.03 \bar{H}$$

Fig. 3.7-9 と Fig. 3.7-10 には、あめりか丸（26 次航）によって得られた船首上下左右加速度の $H_{1/3}$ 、 $H_{1/0}$ を \bar{H} に対してプロットしてみた。これで見ると、多少のばらつきはあっても全体としてよく Rayleigh 分布の理論値にのっているといえよう。

最後に、ピッキングから船首上下加速度を簡単に、精度良く推定出来ないであろうか、という問題を考えてみた。 θ をピッキングの有義値、 T_0 をピッキングのゼロクロス平均周期とすると、船首における上下加速度の有義値は大略

$$Z' = \theta \left(\frac{2\pi}{T_0} \right)^2 \cdot \ell \cdot \frac{1}{g} \quad (8)$$

ℓ …… MIDSHIP から計測点までの距離

であらわされるであろう。そこで今回、船首の上下加速度を計測した 4 隻の船に対して上式を適用して Z' を計算し、これを直接加速度計で計測した値 Z' と比較してみたのが Fig. 3.7-11～Fig. 3.7-14 である。

各船共に、プロットした点はおおむね一本の直線にのると見てよいが、その直線のかたむきは各船各様であって一定していない。特に Fig. 3.7-12 と Fig. 3.7-13 は同一船であるにもかかわらず、かなりの差が認められる。このような差が生ずる原因としてまず考えられるのは、コンテナーの積付の相違によって、重量と吃水、トリムに差を生じ、これがピッキングとヒーピングの位相差の相違となってあらわれてくる事である。そこであめりか

丸の25次航と26次航を比較してみると、往航と復航を別々に比較すれば排水量については大差無く、トリムについては最大1M 20の差があったという事になるが、この程度の差で、ピッキングとヒーピングの位相差が大きく変化するのかどうか、そのあたりは不明である。しかしながら、とにかくピッキングの振幅とその周期だけから船首の上下加速度を推定しようというのは困難であると結論しうるようである。

Frequency Distribution of
Vertical Bow Acceleration
(153 Observations)

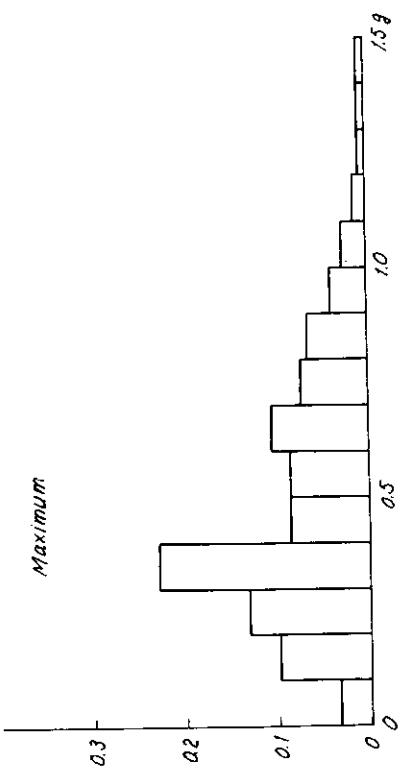


Fig. 3.7-1.

Frequency Distribution of
Lateral Bow Acceleration
(82 Observations)

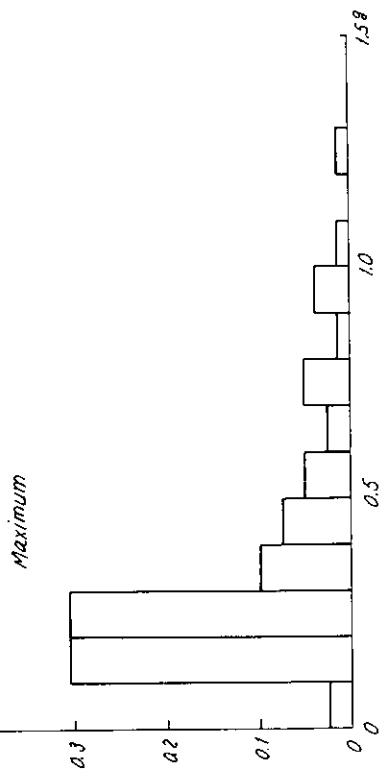


Fig. 3.7-3

1/3 Highest Mean

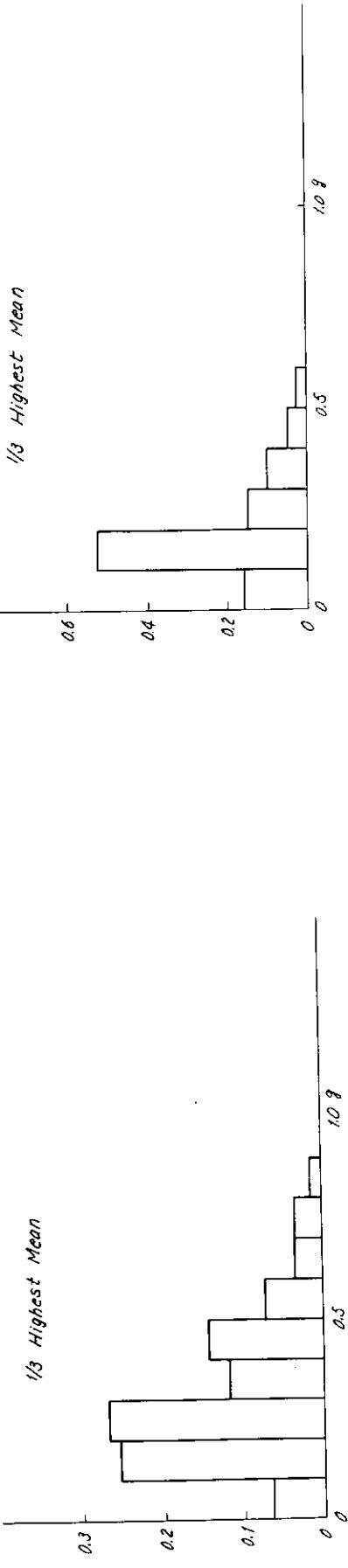


Fig. 3.7-2

1/3 Highest Mean

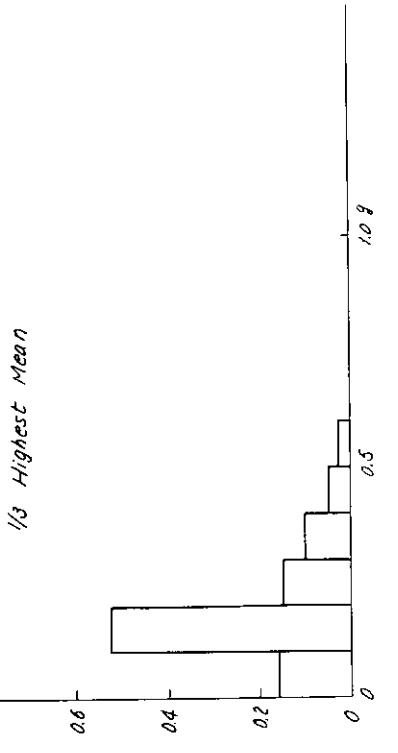
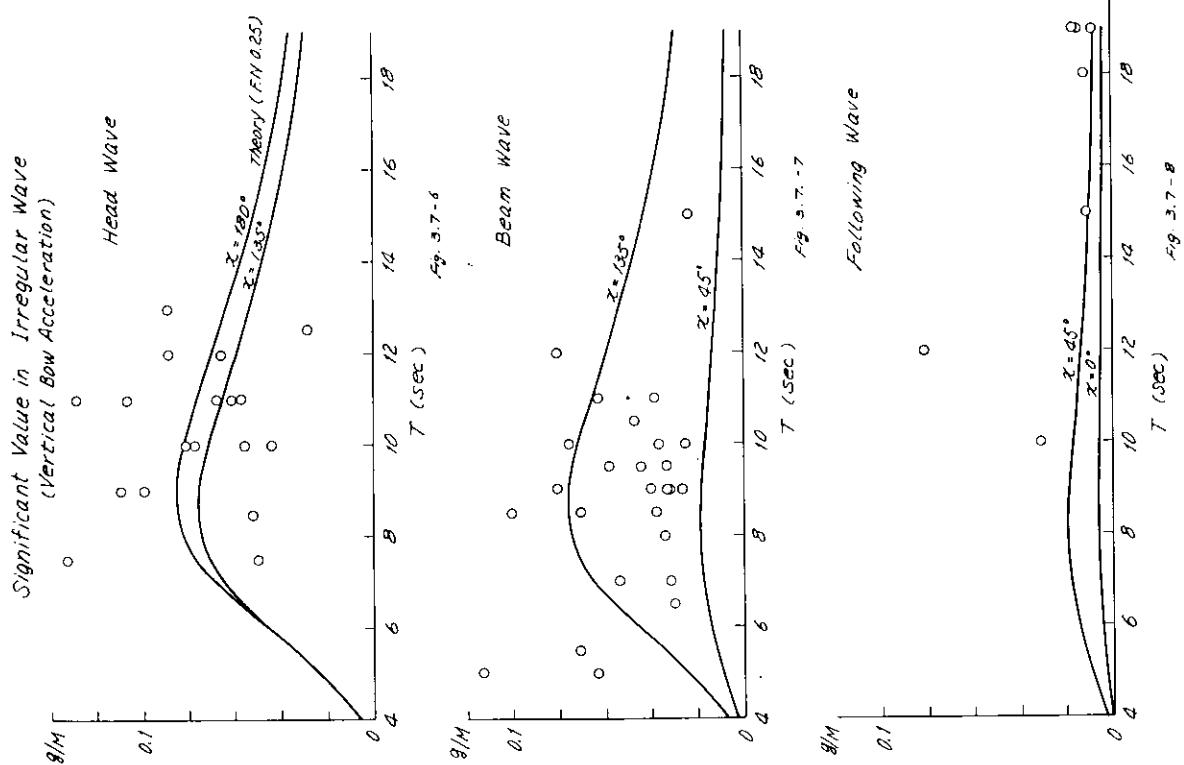
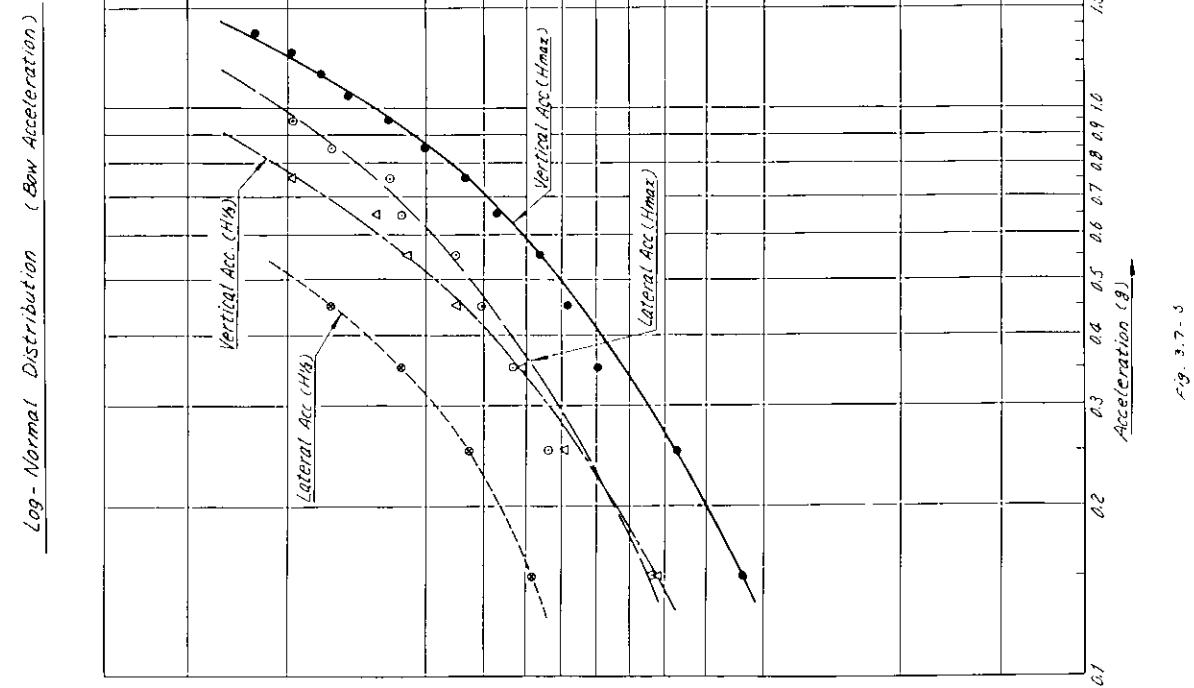


Fig. 3.7-4



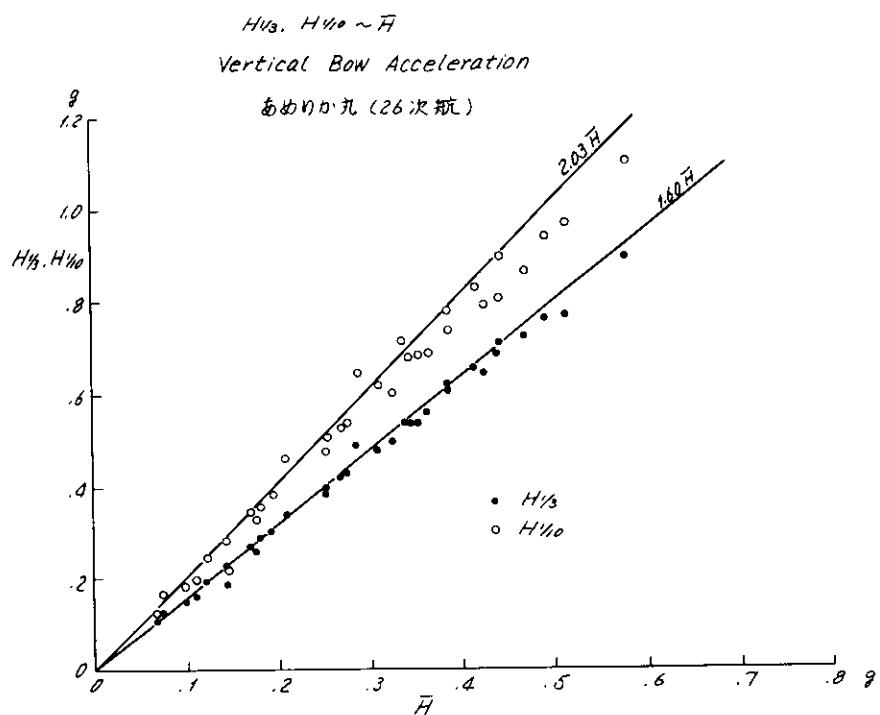


Fig. 3.7-9

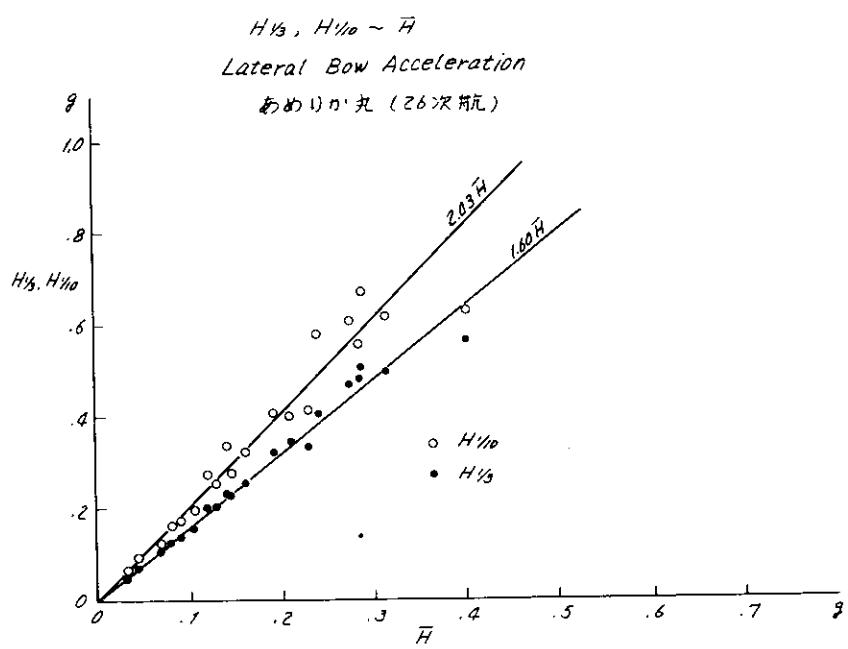


Fig. 3.7-10

Vertical Bow Acceleration ~ Pitch (有義値)

$$\ddot{Z}' = \theta \left(\frac{2\pi}{T_0} \right)^2 \cdot l \cdot \frac{1}{g}$$

θ ... Pitch Angle

l ... Midship から 加速度計測点
までの 距離

- Head Wave
- Beam Wave
- ◊ Following Wave

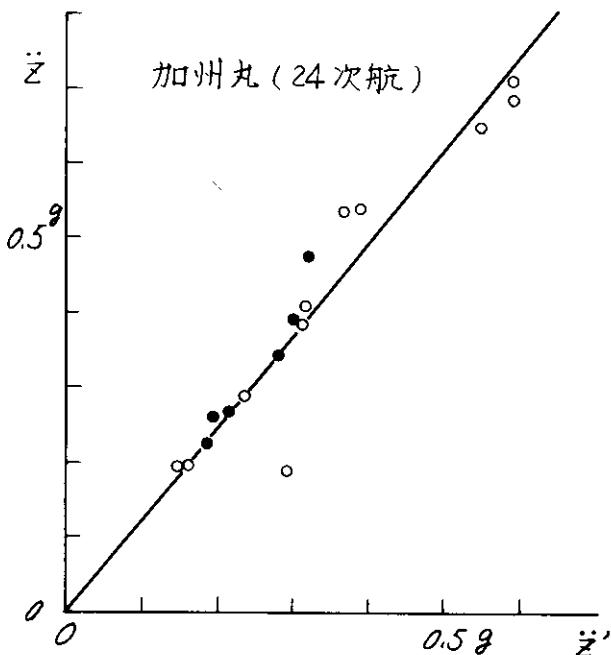


Fig. 3.7 - 11

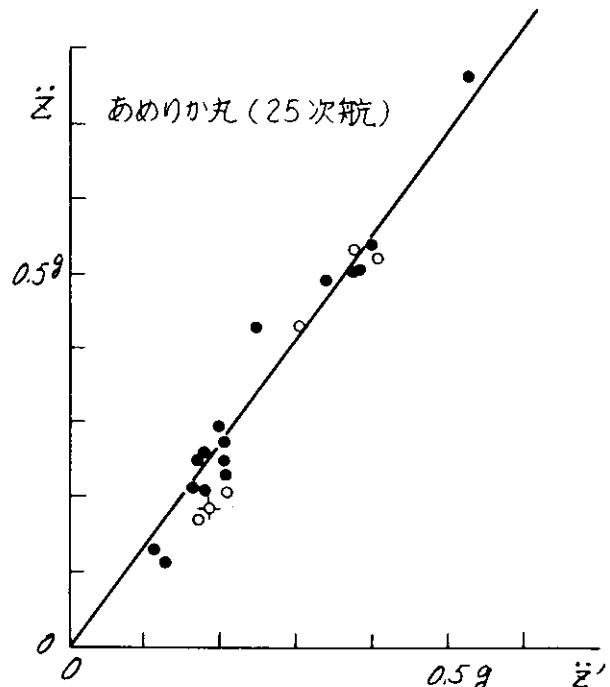


Fig. 3.7 - 12

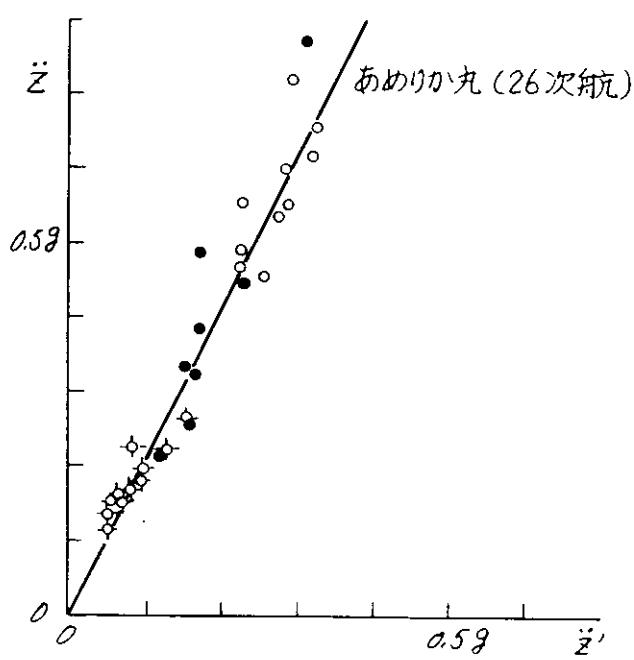


Fig. 3.7 - 13

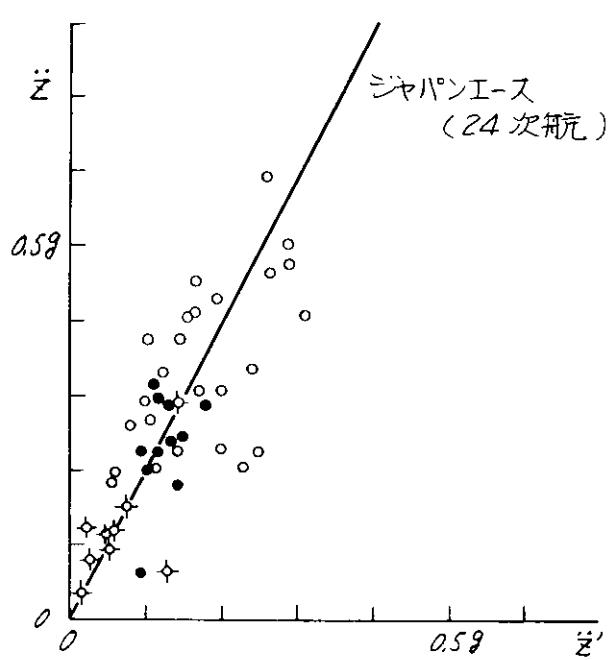


Fig. 3.7 - 14

3.8 船橋での水平加速度

横浜国大 竹沢誠二

今回の実験では加速度の測定はすべてストレーン・ゲージ型の線加速度計を船体に固定して実施している。すなわち、設置点での上下、左右、あるいは前後加速度が測定されているので、これらはピッチ、ロール、ヨー、サーチ、ヒープ、スウェーの各運動の合成運動としての加速度を測定している。

ここでは横浜国大チームがホイール・ハウス内に設置した加速度計によって得られた値について簡単に述べる。船橋での加速度は他のチームによっても各種の位置で、各種の方向に対して測定されているので、より詳細な結果を知りたい場合は、データ集によってここに示すのと同様な整理をされると参考になろう。

横浜国大の加速度計はホイール・ハウス内の船体中心線上の床面に近い位置に、前後および左右方向の加速度を測定する方向に固定されている。すなわちその位置でのサーチ加速度、スウェー加速度に相当する現象を測定している。そこでFig. 4には Sway Acc., Surge Acc. と表示されているが、厳密には上記のように Lateral Acc. at Wheel House Center, Longitudinal Acc. at Wheel House Center と称すべきものである。

Fig. 3.8-1, 2 にはピッチ、ロールのエネルギー・スペクトラムおよび Surge Acc., Sway Acc のエネルギー・スペクトラムを ω^4 で割ったスペクトラム表示が示されている。Pitch は Surge Acc. / ω^4 KC, Roll は Sway Acc. / ω^4 KC それぞれ類似しているので、ここで Sway Acc. と称している加速度は主として Rolling 角から影響を受け、Surge Acc. は主として Pitching 角から出るものであることがわかる。本船の船橋はアフト・ブリッジであり、その高さも高い事を考えると当然の傾向であるとも言えよう。

Fig. 3.8-3, 4 には 横軸に加速度の全振幅の平均値 (\bar{H}) をとり、縦軸に加速度の全振幅の有義値 (H_{10}), root mean square (Hrms), 高い方から H_{10} の平均値 ($H_{10\bar{H}}$), およびスペクトラムから求まる標準偏差 (σ_s) を全実験点について示してある。本図から $\sigma_s = 0.399 \bar{H}$, Hrms = 1.129 \bar{H} , $H_{10} = 1.598 \bar{H}$ なる Rayleigh 分布 ($\epsilon = 0$) の関係式がよく適合することがわかる。 $H_{10\bar{H}} = 2.032 \bar{H}$ なる関係は上記の関係に比し適合度が少し悪い。このように全振幅に関しては Rayleigh 分布の関係式がよく適合するのは、3.2 で示したように今回の解析では生の波形を Rayleigh 分布に適合するように正の極小値、負の極大値などを無視してしまっている事に一因がある。本図によると全振幅の平均値 (\bar{H}) で Sway Acc., Surge Acc. ともに 0.2 \bar{H} 以下であり、0.1 \bar{H} 附近の頻度が比較的多いことが示されているが、このような傾向を見るためには、より多くのチームの値をプロットする必要がある。

Fig. 3.8-5, 6 には統計解析によって求めた Zero Cross の Mean Period (\bar{T}_0) と Peak to Peak の Mean Period (\bar{T}_m) とスペクトラム解析から求まるこれらの値の関係について示してある。スペクトラム解析から求まる Zero Cross Mean Period には 2 種あるが、この例では (T_{02})_s すなわち 2 次のモーメントを用いた値が統計解析による値に近いようである。

$\bar{T}_0 > \bar{T}_m$ の傾向は Sway Acc., Surge Acc. にも表われている。また Surge Acc. の周期は Sway Acc. の周期より小である傾向も示されている。すなわち Surge Acc. は主として Pitch 角、Sway Acc. は Roll 角に関連が深いとするとこの傾向も当然の傾向としうなづける。また 加速度の平均周期はこれらの関連の深い現象の周期より短い傾向にある。

Fig. 3.8-7, 8 にはスペクトラム解析から求まる標準偏差 σ_s とバンド幅係数 ϵ_s と統計解析から求まるこれらに対応する量 σ' と ϵ' の比較を行なっている。 σ_s と σ' では量の大小に関係なくよく一致している。一方 ϵ' と ϵ_s は一致が相当悪い。これは ϵ_s の算出に含まれる m_2, m_4 の算出精度および ϵ' 算出上の仮定などに基因するものと思われる。なお Sway Acc. では ϵ が大で、Surge Acc. では ϵ が小であるが、この傾向が一般的である

とは言えまい。なお、このように ϵ が広い範囲にわたっているので、Fig. 3.8-3, 4 のように $\epsilon = 0$ の場合の常数に適合するのではなくて、Fig. 3.8-3, 4 の算出は前述のように $\epsilon = 0$ の場合に合うようになっている。Fig. 3.8-7, 8 に示されている ϵ が与える常数と現象が適合するかどうかは、別の統計解析を行なえばわかるが、今回の計算には含まれていない。

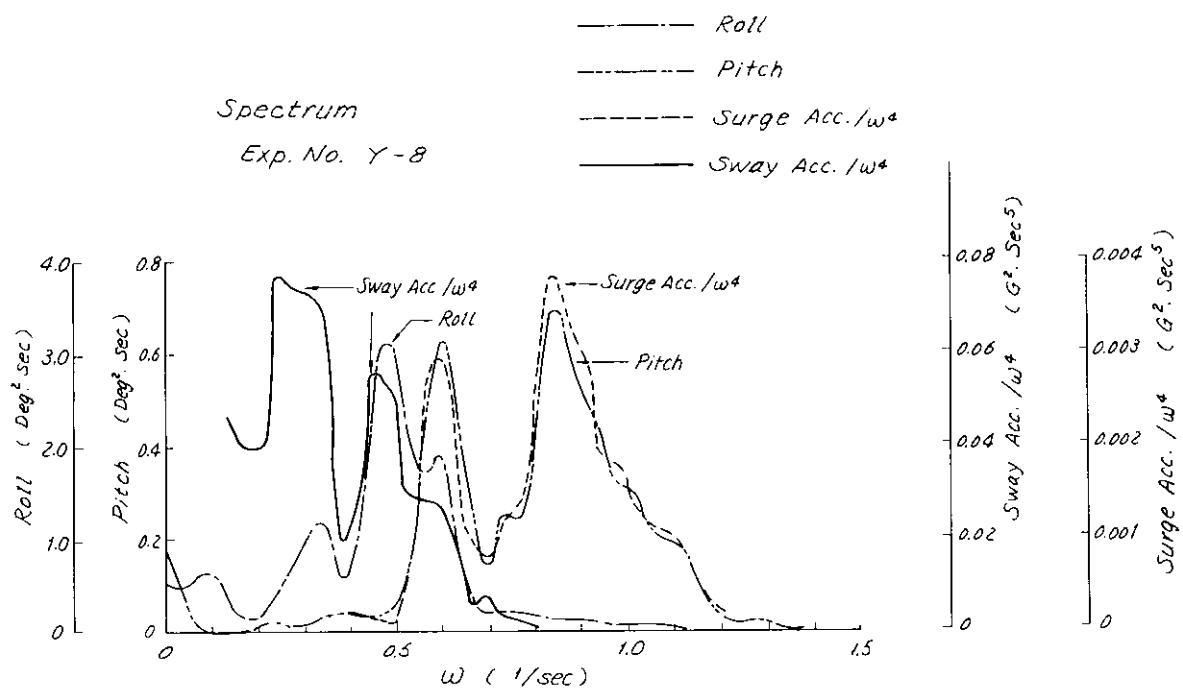


Fig. 3.8-1

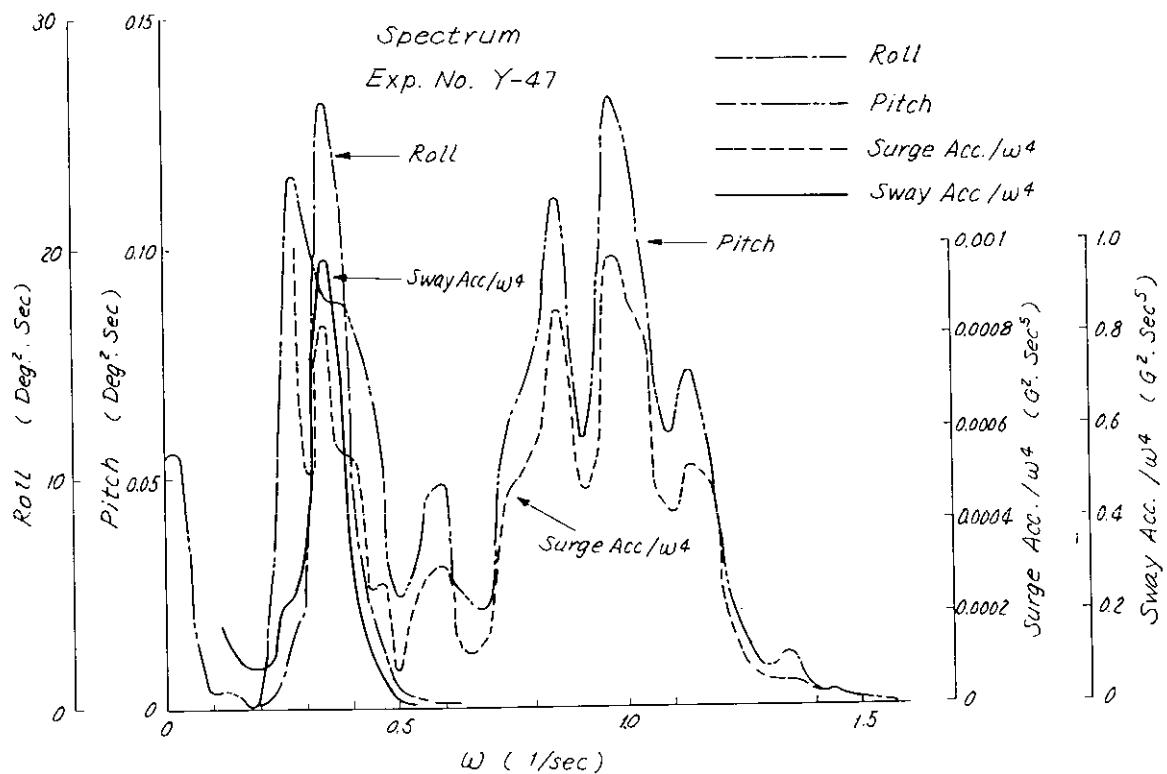


Fig. 3.8-2

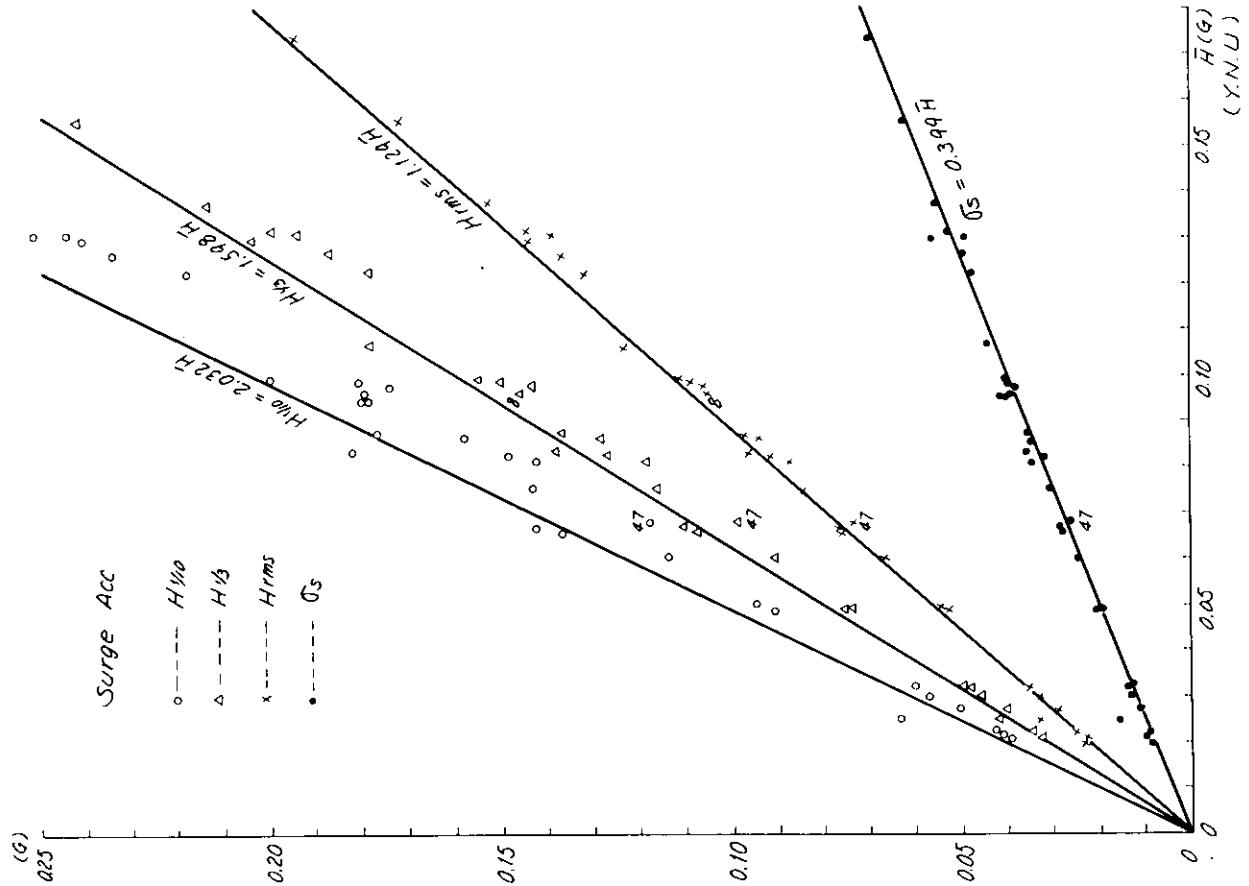


Fig. 3.8-4

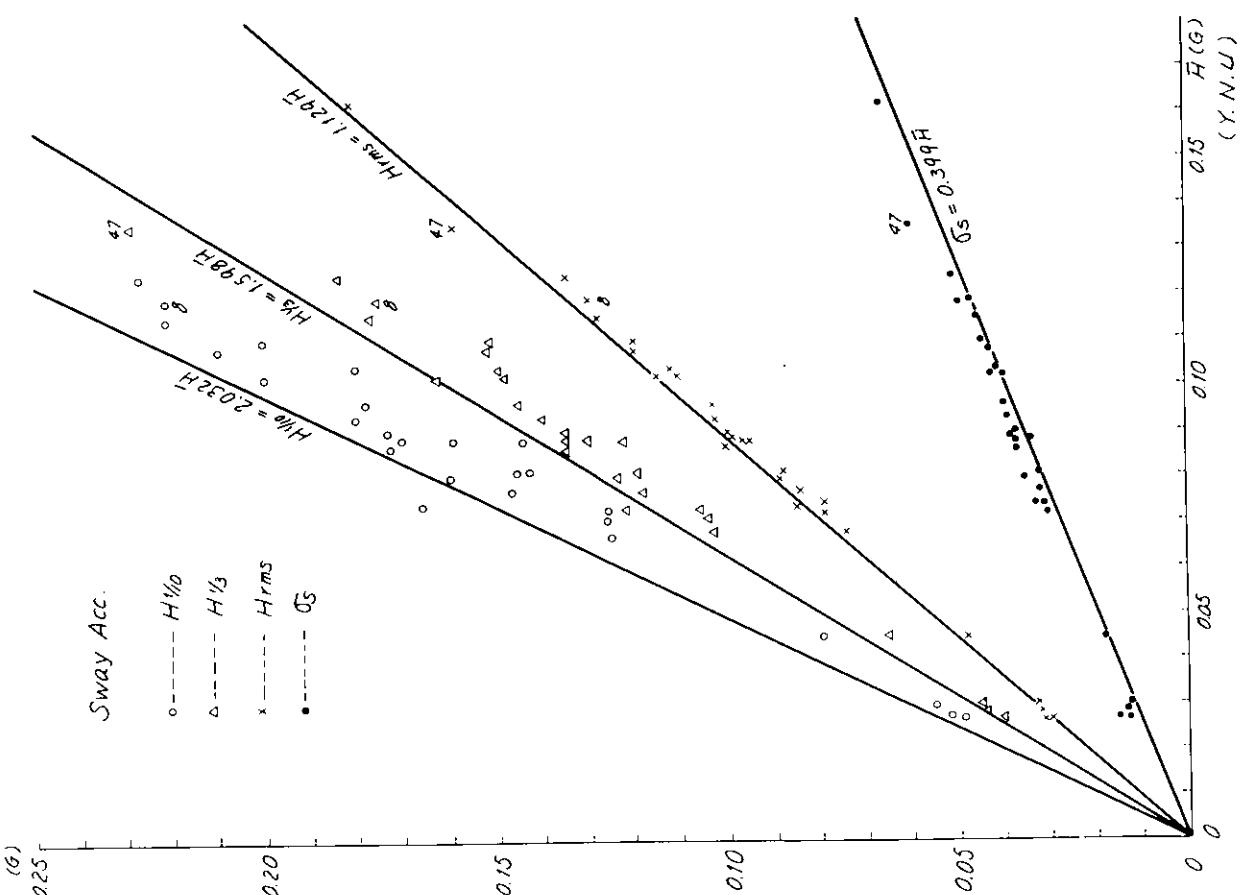
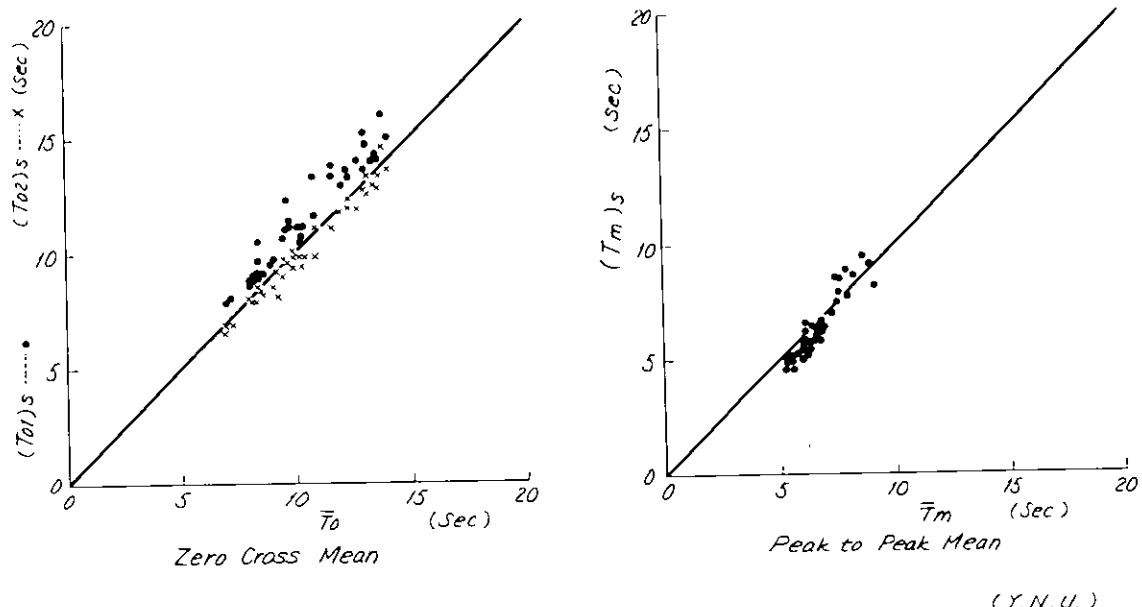


Fig. 3.8-3

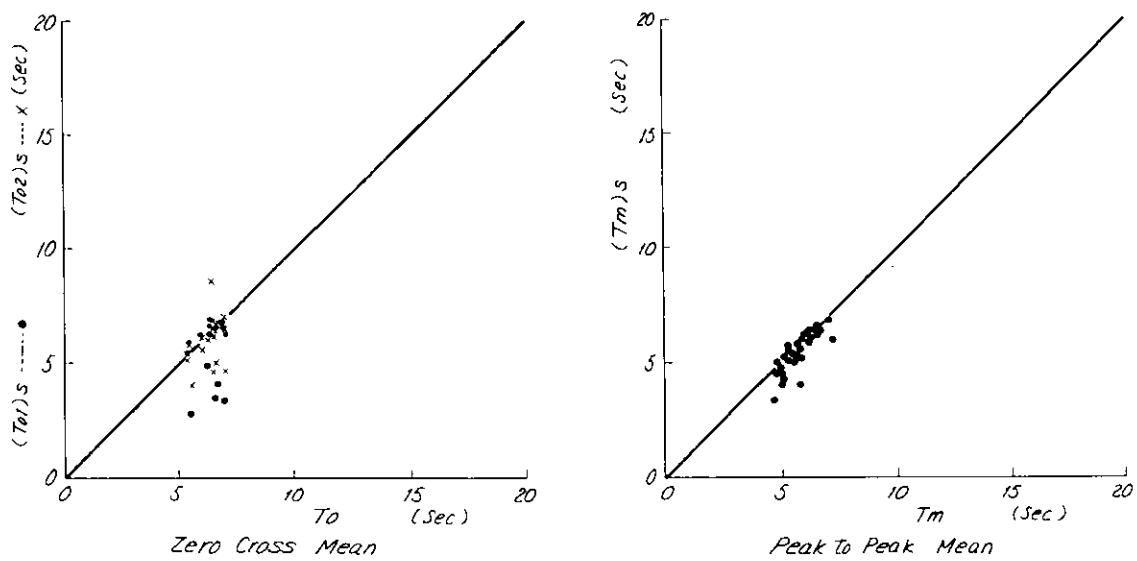
Sway Acc. Period



(Y.N.U.)

Fig. 3.8-5

Surge Acc. Period



(Y.N.U.)

Fig. 3.8-6

Sway Acc

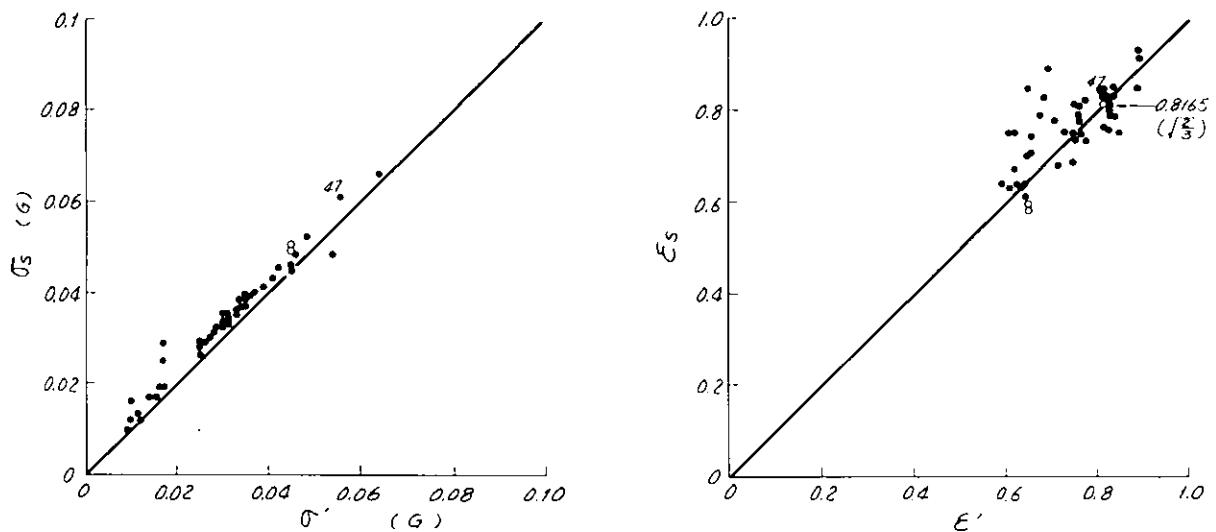


Fig. 3.8-7

Surge Acc.

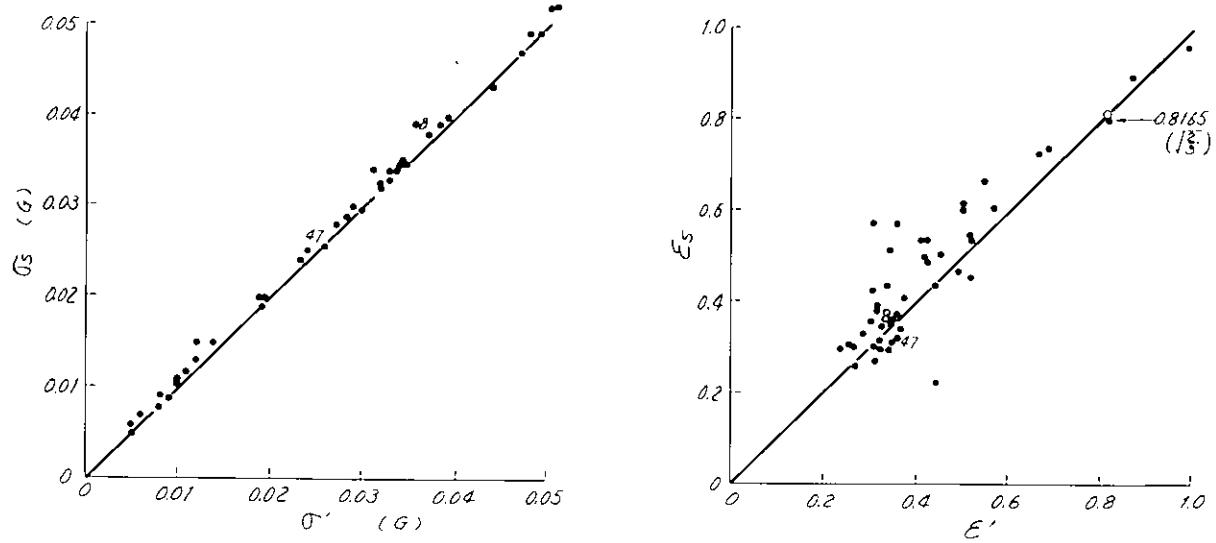


Fig. 3.8-8

3.9 ヨウと舵角

船舶技術研究所 小川陽弘

3.9.1 概要

ヨウは日立・府大チームの加州丸、船研チームのあめりか丸および三菱チームの箱根丸の3船について、舵角は船研チームのあめりか丸のみについて、解析した結果が得られているので、以下の報告にはこの3船について述べる。たゞし舵角とヨウの関連についてはあめりか丸の解析結果のみを用いて考察した。

3船のヨウ（及び舵角）の解析法で、スペクトラム解析における ω_L と ω_H （3.2参照）のとり方に相違があり、

$$\text{加州丸: } \omega_L = 0, \quad \omega_H \doteq 1.3 \sim 1.6$$

$$\text{あめりか丸: } \omega_L \doteq 0.14 \sim 0.17, \quad \omega_H \doteq 0.6 \sim 1.3$$

$$\text{箱根丸: } \omega_L = 0, \quad \omega_H = 1.9$$

となっている。 ω_L のとり方の相違による影響は σ_s , ϵ_s などに現われる。

3.9.2 ヨウと舵角の特徴

船は航海中ほとんどオートパイロットによる自動操舵を行なっている。このため非常に長周期のヨウイングを生じていることは、よく知られていることである。

波浪中ではこの他に波の力を受けて、ピッチ、ロール等のモードと同程度の周期の動搖もする。これをスペクトラムの形で見ると、Fig. 3.9-1, 3.9-2に示される様に、双峯型になるのが代表的なもので、状況に応じてどちらかのピークが際立って高くなったり、一方が全く無くなってしまったりもする。

長短2つの周期の運動が合成されている様子は、コレログラムによってもはっきりわかる。ピッチ、ロール等の運動には、この様な長周期の成分は見られないことを思えば、ヨウと舵角の特殊性が理解されよう。このことは逆に、ヨウや舵角の解析には、ピッチ、ロール等と同じスペクトラム解析法が、必ずしも適していないであろうことを予想させる。

3.9.3 統計解析結果

Fig. 3.9-3, 3.9-4はヨウと舵角の全振幅の頻度分布と、3.2節の方法に従って計算したRayleigh分布の曲線とを示す。

前項に述べた様な特性から推して、ヨウや舵角の分布は必ずしも統計的にきれいな形にならないであろう。ということとも容易に予想できるが、両図を見るとこのことは裏付けられているようである。この時の海象は（詳細は前報研究資料第125号参照）、T. No SO-6~11が非常に荒れた状態で、うねり波高5~6m、風浪波高約3m、相対風速20~30kt、いずれもほど右横からのもので、大体似たような状況であった。T. No SO-1と17以後が比較的穏やかな状態、T. No 2~3, 12~13が中位でやうねりの多い状態である。Fig. 3.9-3のヨウ振幅の分布を見ると、この海象に非常に良く対応している。たゞしT. No 6では約8ktに減速し、変針はないが手動操舵を行なっているので条件は他と異なる。

Fig. 3.9-4の舵角ではヨウの場合ほど海象との対応ははっきりしないが、荒れているときは10°前後の舵角（両振幅）の成分が多く、そうでない時は2~3°の成分が非常に多くなっている。T. No SO-7, 8だけ両振幅が10°以内に納まっているが、これはオートパイロットの設定が他と違うためである。本船の平常航海中のオートパイロットの設定は、舵角調整3、天候調整1.7であるが、たまたまT. No 6の時には減速・手動操

舵するような状況であったから、その時何らかの目的でどちらも 1 に調整され、T. No 7, 8 の間そのままにされていたと推定される。

オートパイロットの調整とヨウ、舵角との関係についてはまた後に述べる。

Fig. 3.9-5, 6 は統計解析による H_{rms} 等を平均値 \bar{H} に対してプロットしたもので、 $\epsilon = 0$ に対する理論的関係と比較している。 H_{rms} では理論と良く合い、 $H_{1/3}$ でもほぼ合っていると言えるが、 $H_{1/6}$ では余り一致していない。またスペクトラム解析による標準偏差 σ_s と \bar{H} の関係も示したが、ヨウの場合には $\epsilon = 0$ と $\epsilon = \sqrt{2}/3$ のそれぞれの理論値の間に大体入っていると見られる。 $\epsilon = 0$ の線より下にあるものは $\omega_L > 0$ のグループで、この場合は σ_s については長周期成分が除かれているから低く出るわけである。これは舵角についても同様である。

3.9.4 スペクトラム解析値と統計解析値との比較

Fig. 3.9-7, 8 にスペクトラム解析による周期 $(T_{01})_s, (T_{02})_s, (T_m)_s$ を統計解析値 \bar{T}_o, \bar{T}_m と比較したものを、Fig. 3.9-9, 10 に σ_s と σ' , ϵ_s と ϵ' を比較したものを示す。

Fig. 3.9-7, 8 で示される周期の関係を見ると、一般にスペクトラム解析の方が周期がやゝ長い目に出来るようであるが、バラつきも大きいので明らかにそうだとは言えない。ヨウや舵角は前にも述べたような特殊性があるので、 ω_L や ω_H の決め方の影響も大きく出てきて、余り細かい議論は出来ないようである。

Fig. 3.9-9, 10 についても同様であるが、 $\epsilon_s \sim \epsilon'$ の関係を見ると、概して ϵ_s の方が ϵ' よりも小さい。これは ϵ_s では ω の範囲を制限して計算していることによるものであろう。絶対値としてはノイマンスペクトラムの理論値 $\epsilon = \sqrt{2}/3$ に近い所にあって、 $\epsilon = 0$ の付近ではない。 $\sigma_s \sim \sigma'$ の関係では、T. No 6 等の様な極端な場合を除いては、スペクトラムの図から感じられる程大きな差がないことがわかる。

3.9.5 オートパイロットの調整について

3.9.3 頃で述べた様に、T. No SO-7, 8 ではオートパイロットの調整が他と異なっており、そのため全振幅の頻度分布 (Fig. 3.9-4) が、振幅の小さい方へ片寄っている。この影響を調べるために、ほとんど同様の海象と見られる T. No SO-6 ~ 11 の間について、周期、振幅等の変化を調べたものが Fig. 3.9-11 である。

図によると、T. No SO-6 では手動操舵しているのでこれと別として、T. No SO-7, 8 の舵角では T. No 9 ~ 11 とくらべて次のような特徴が見られる。

- (a) \bar{T}_o は小さいが \bar{T}_m は変わらない。
- (b) σ' と \bar{H} は小さい。
- (c) スペクトラム解析による周期は変わらない。
- (d) σ_s は小さい。

これらを総合して考えると、T. No 7, 8 では小振幅で短周期の操舵をして居り、T. No 9 以降ではこれに更に長周期の操舵が加わった形になっていると考えられる。スペクトラム解析でこの周期の差違が出てこないのは、長周期成分をカットして積分しているためであろう。なおオートパイロットの制限舵角は土 10° に設定されていたが、全振幅の頻度分布を見ると、そこまで操舵されていなかったことがわかる。これは波浪中では波との出会い周期による運動の影響が大きく、また波の少ない時は勿論大舵角をとる必要がなかったために、いずれにしても制限舵角にかかる所まで行かなかったものであろう。

一方ヨウについて見ると、T. No 7, 8 では \bar{H} と σ' が増え、 \bar{T}_o も増加している。即ち、オートパイロットの

調整によって舵の動きを制限した結果、かえってヨウ振幅は増加しているように見える。平均周期 \bar{T}_0 が大きくなっているのは \bar{H} が増加したことによると思われる。

3.9.3 項で述べたように、ヨウ振幅は大体海象に対応していることから考えて、オートパイロットの設定値は舵角には勿論直接影響するが、ヨウには意外に影響が少ないと言える。

3.9.6 手動操舵について

もう一つ興味のあるのが手動操舵の場合の運動である。スペクトラムの形 (Fig. 3.9-1, 2) を見ると、ヨウも舵角も超低周波成分が圧倒的に大きく、出会い周波数での運動はわからない。このことは \bar{T}_0 が最もよく現われて居り、Fig. 3.9-11 で見ても舵角の \bar{T}_0 が極めて大きく、それに伴ってヨウの \bar{T}_0 も相当に大きくなっている。一方、舵角の σ' , H は普通の大きさでヨウの σ' , H はやゝ大きい。

これをアノログの記録に立ち帰ってみると、手動の場合には矩形的な操舵が行なわれて居り、舵角振幅は Fig. 3.9-4 からもわかるように意識的に押さえられている。舵角の T_m が小さいのは、このような矩形波的記録を無理に曲線にあてはめて、架空のピークを作っていることによると思われる。

スペクトラム解析値は、周期・分散とともに小さくなっているが、これについては次のようなことが考えられる。まず舵角については、手動の場合の操舵角は上記の様な事情があるので、低周波成分をカットして積分した値がどれだけの意味を持っているのか不明である。次にヨウについては、波による動搖はやゝ少なくなってしまっており、船が減速した効果が現われている。この様な荒天下の動搖としては長周期成分は問題にならないから、統計解析値の平均振幅が大きいこと等は余り気にしなくて良いと考えられ、スペクトラム解析値 ($\omega_L > 0$) が減速の効果を表わすものと考えられる。

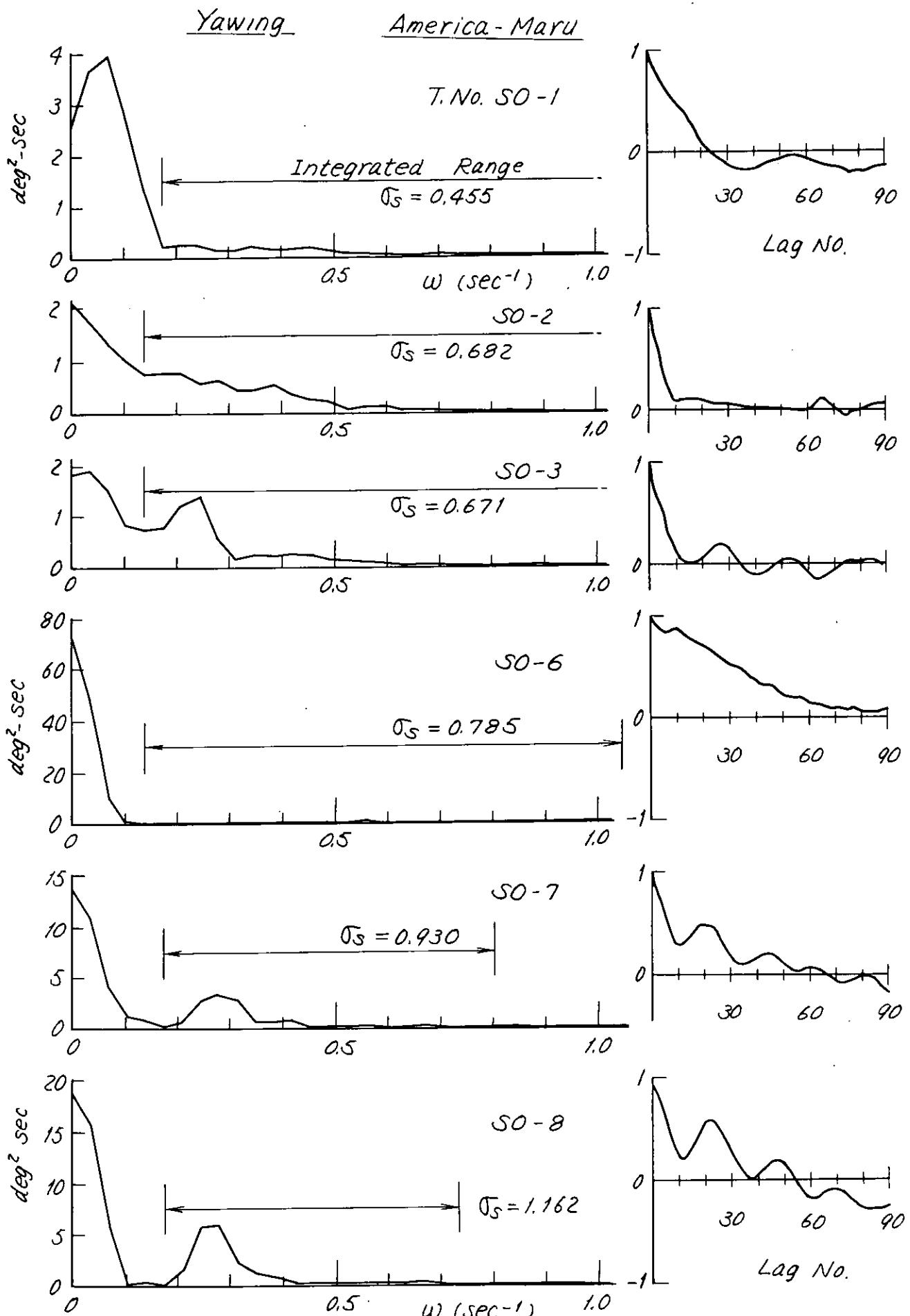


Fig. 3.9-1(a) ヨウのスペクトラムとコレログラム

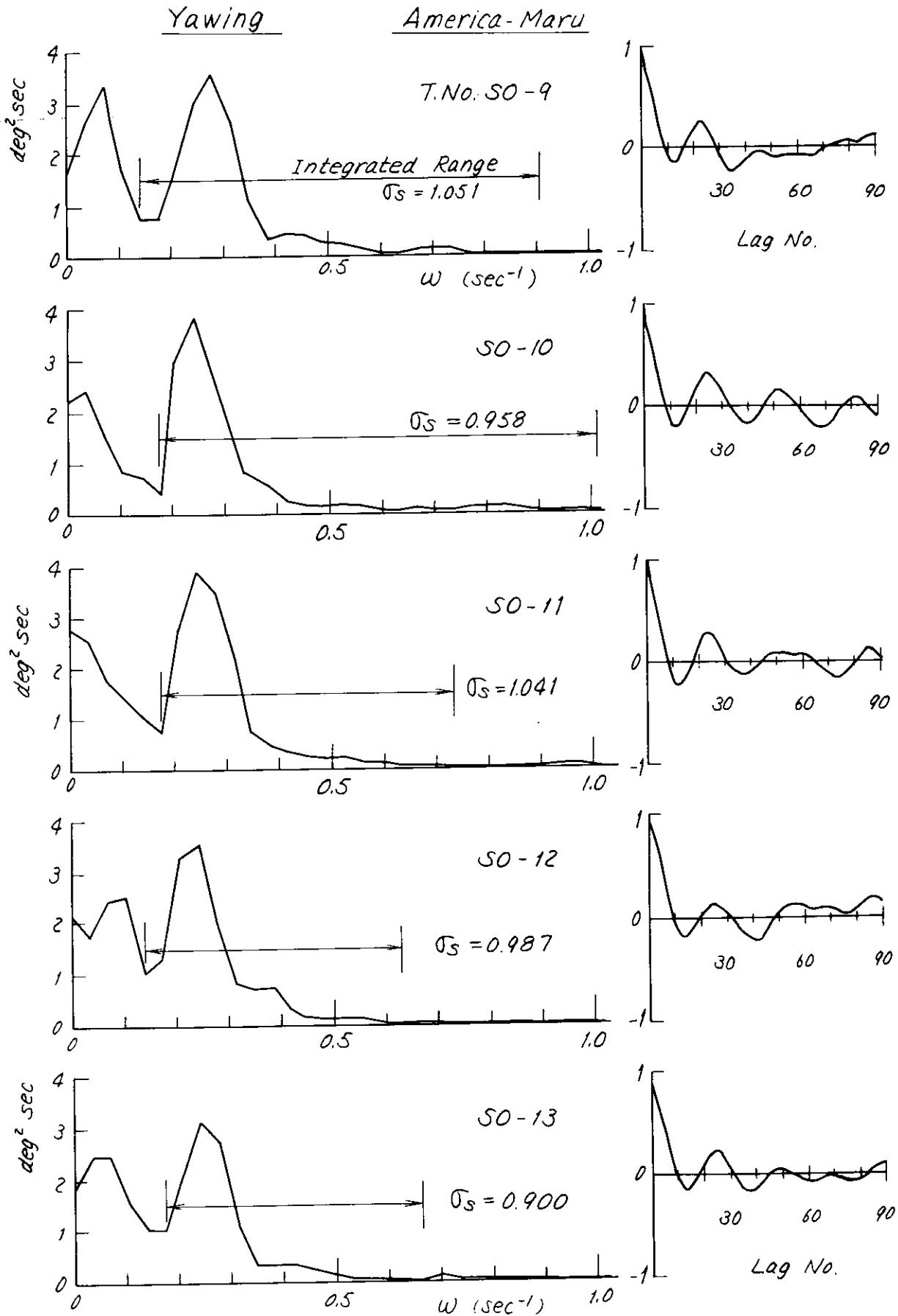


Fig. 3.9-1 (b) ヨウのスペクトラムとコレログラム

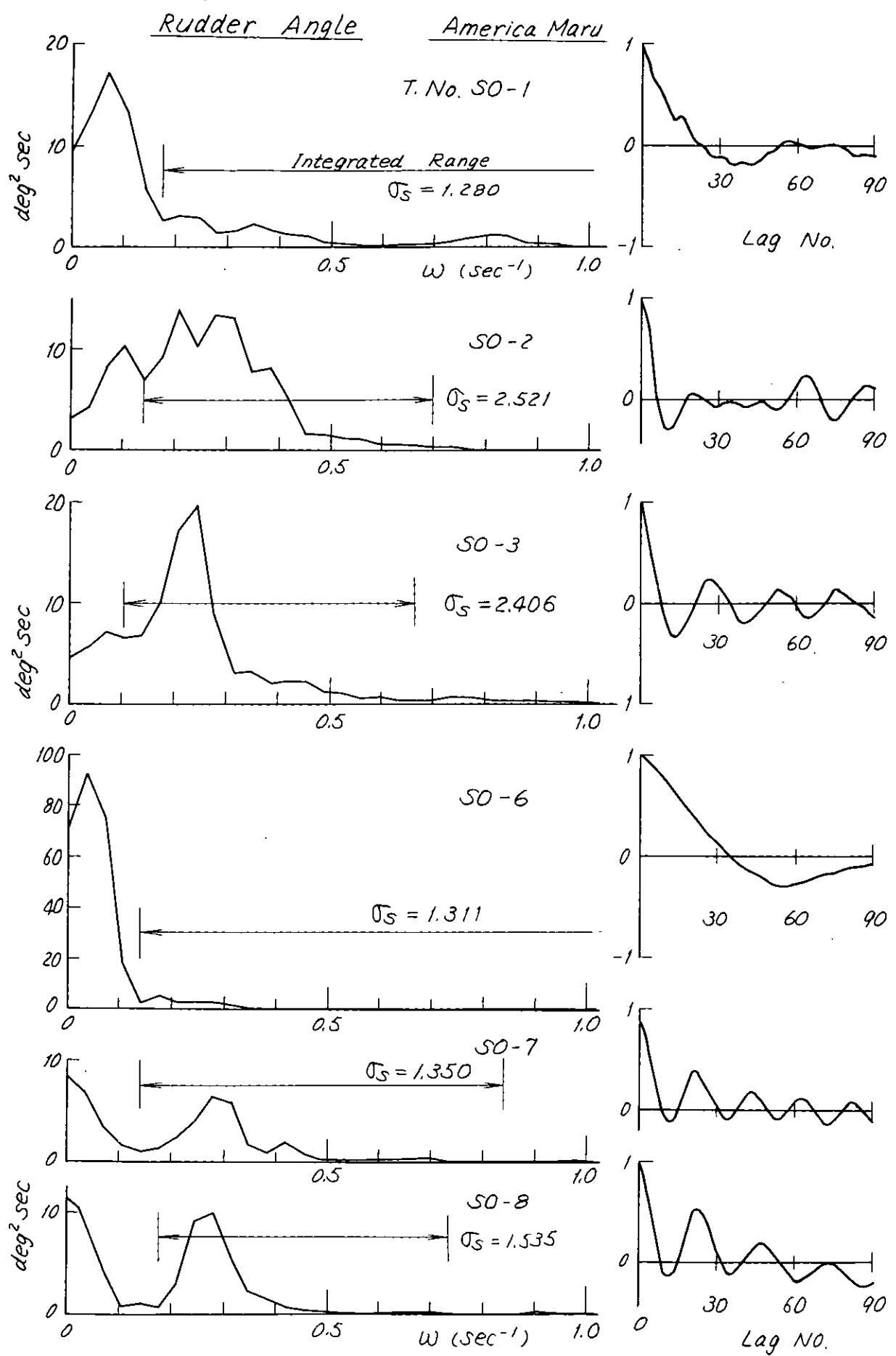


Fig. 3.9-2(a) 舵角のスペクトラムとコレログラム

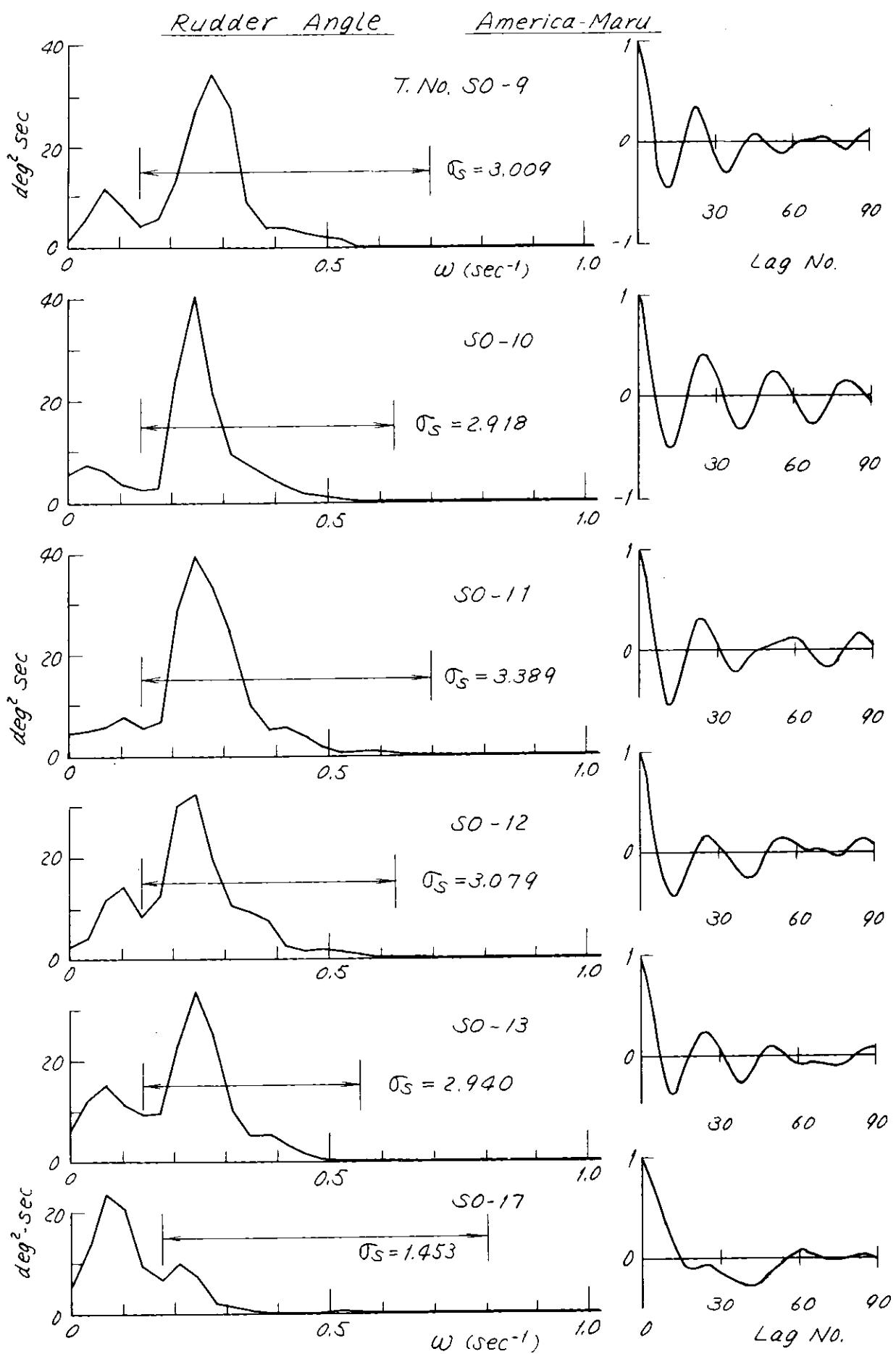


Fig. 3.9--2 (b) 航角のスペクトラムとコレログラム

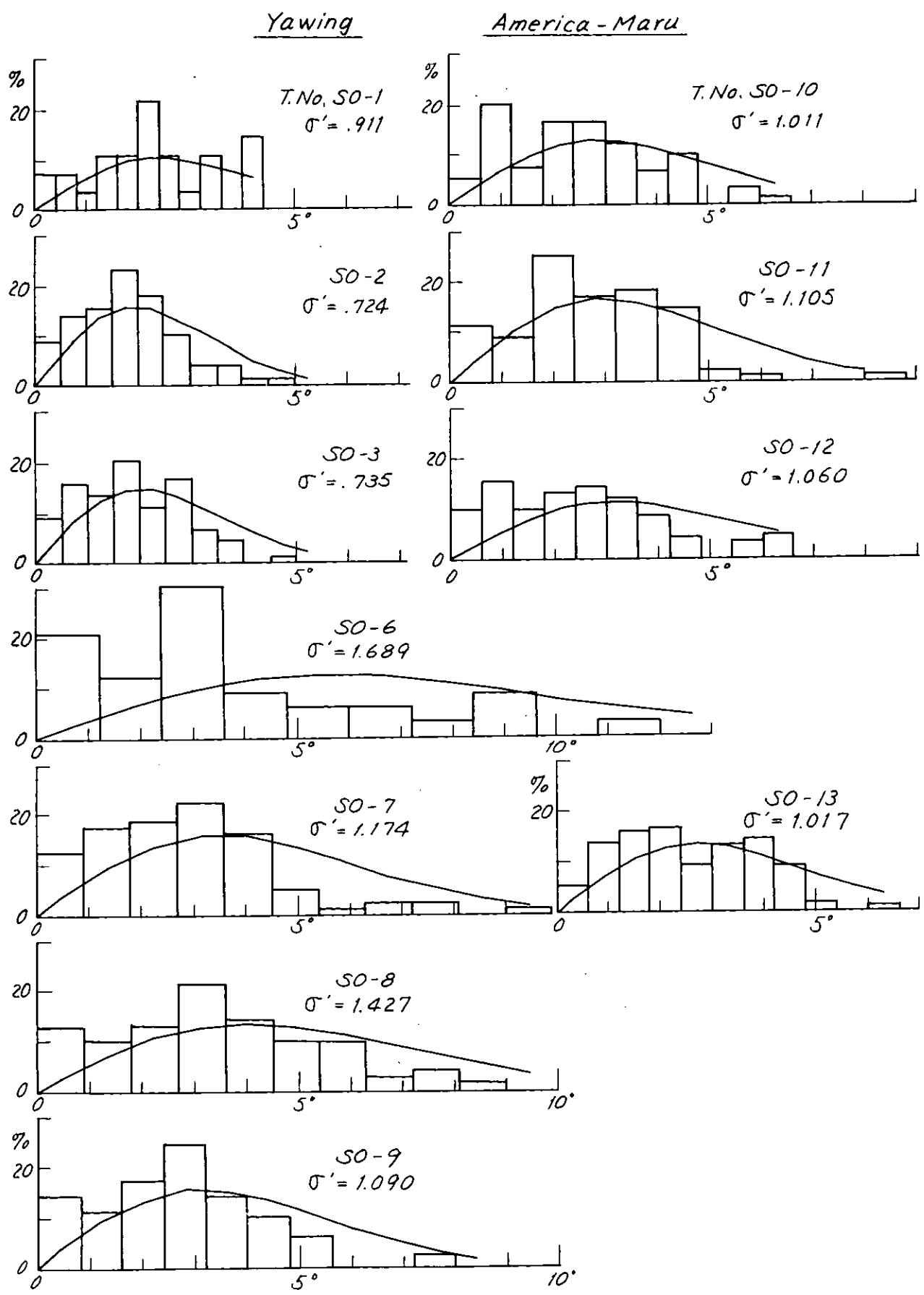


Fig. 3.9-3 ヨウの全振幅の頻度分布

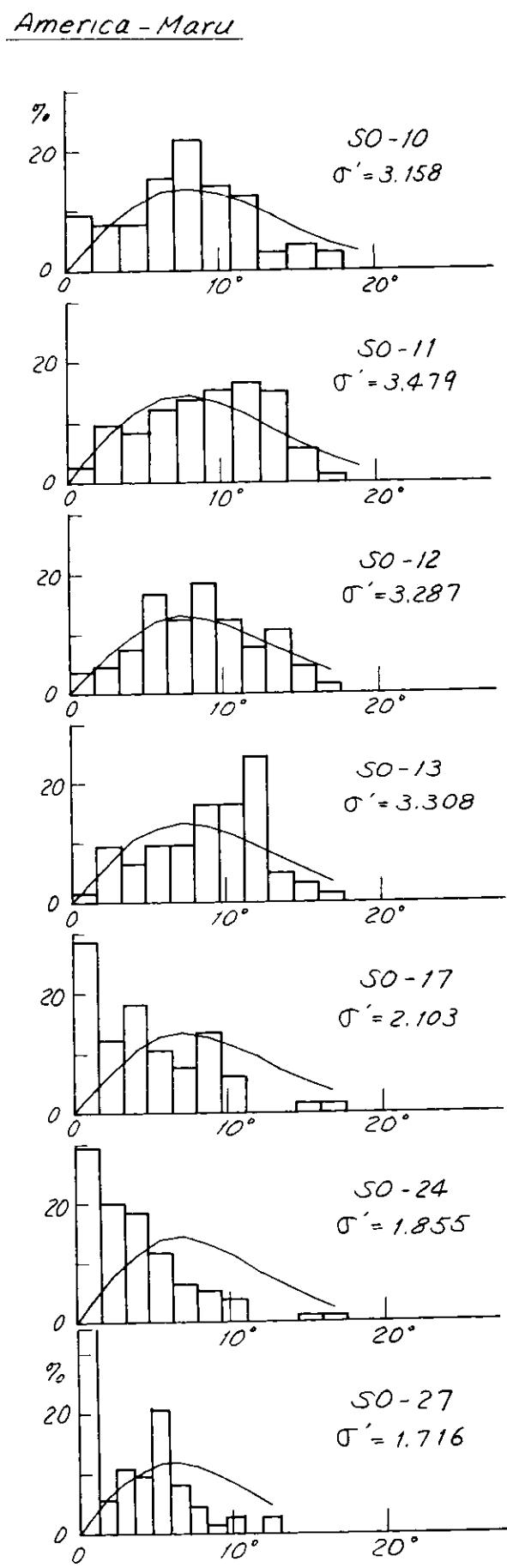
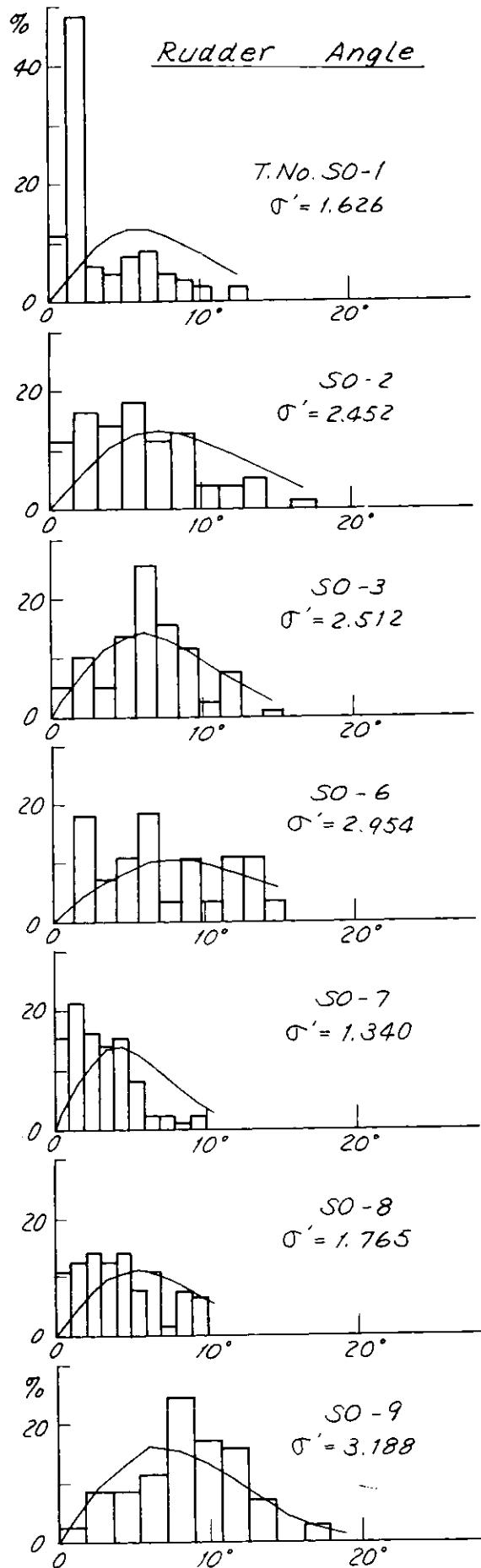


Fig. 3.9-4 船舶の全振幅の頻度分布

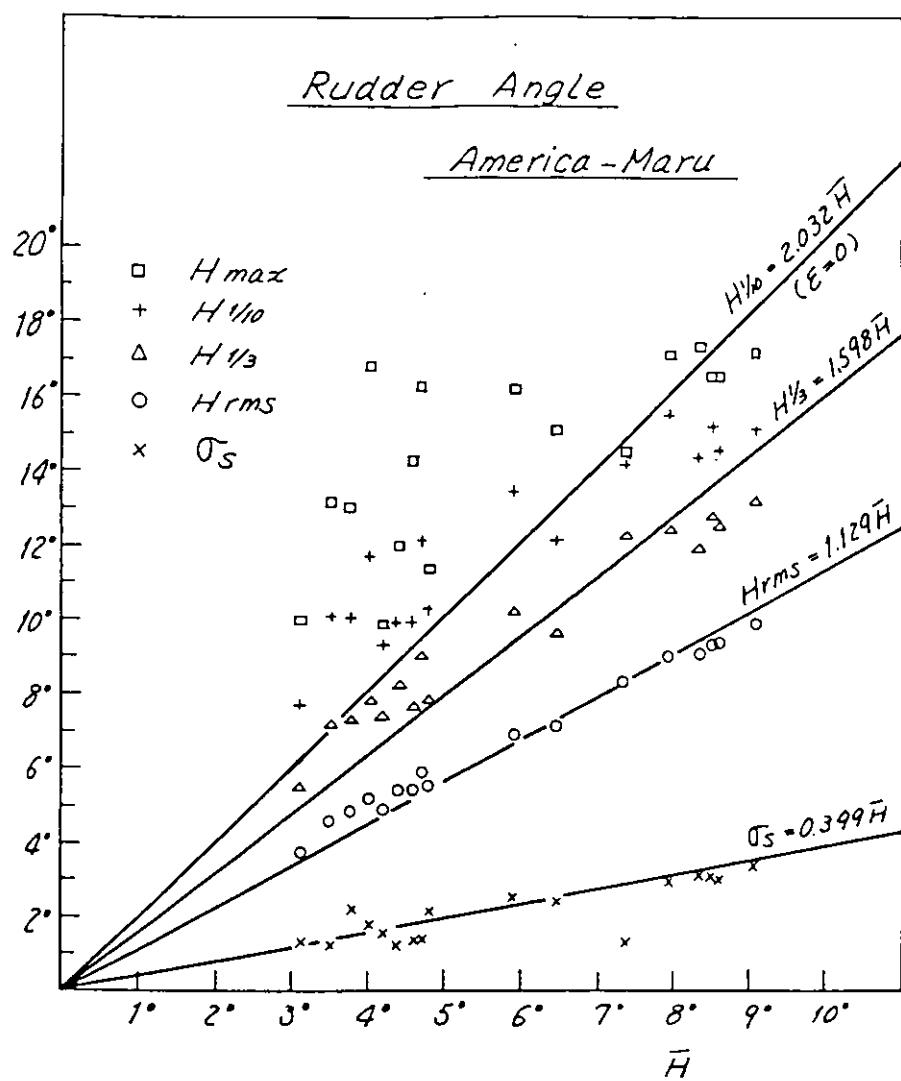


Fig. 3.9-6 舵角の両振幅の統計解析値

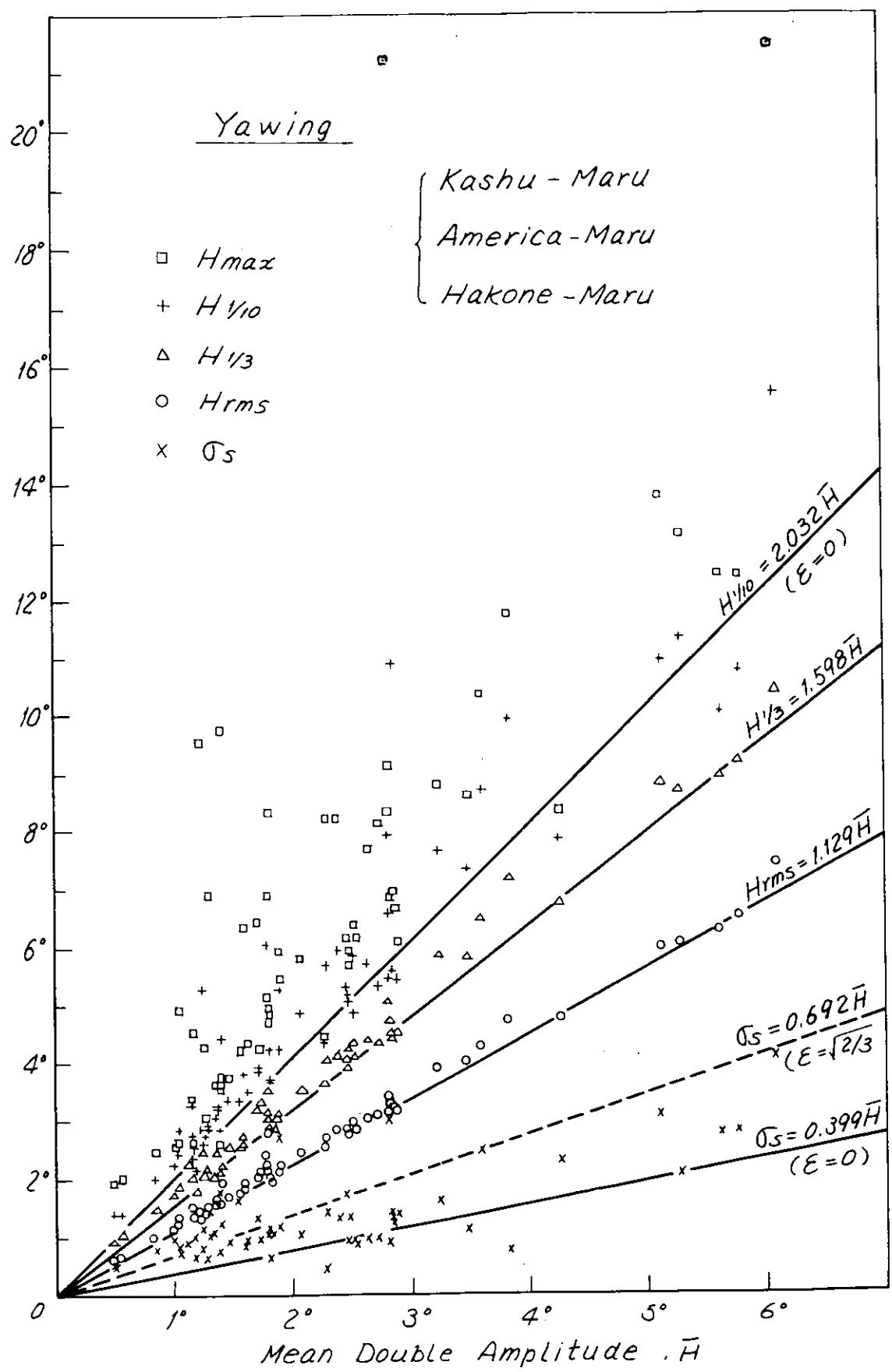


Fig. 3.9-5 ヨウの両振幅の統計解析値

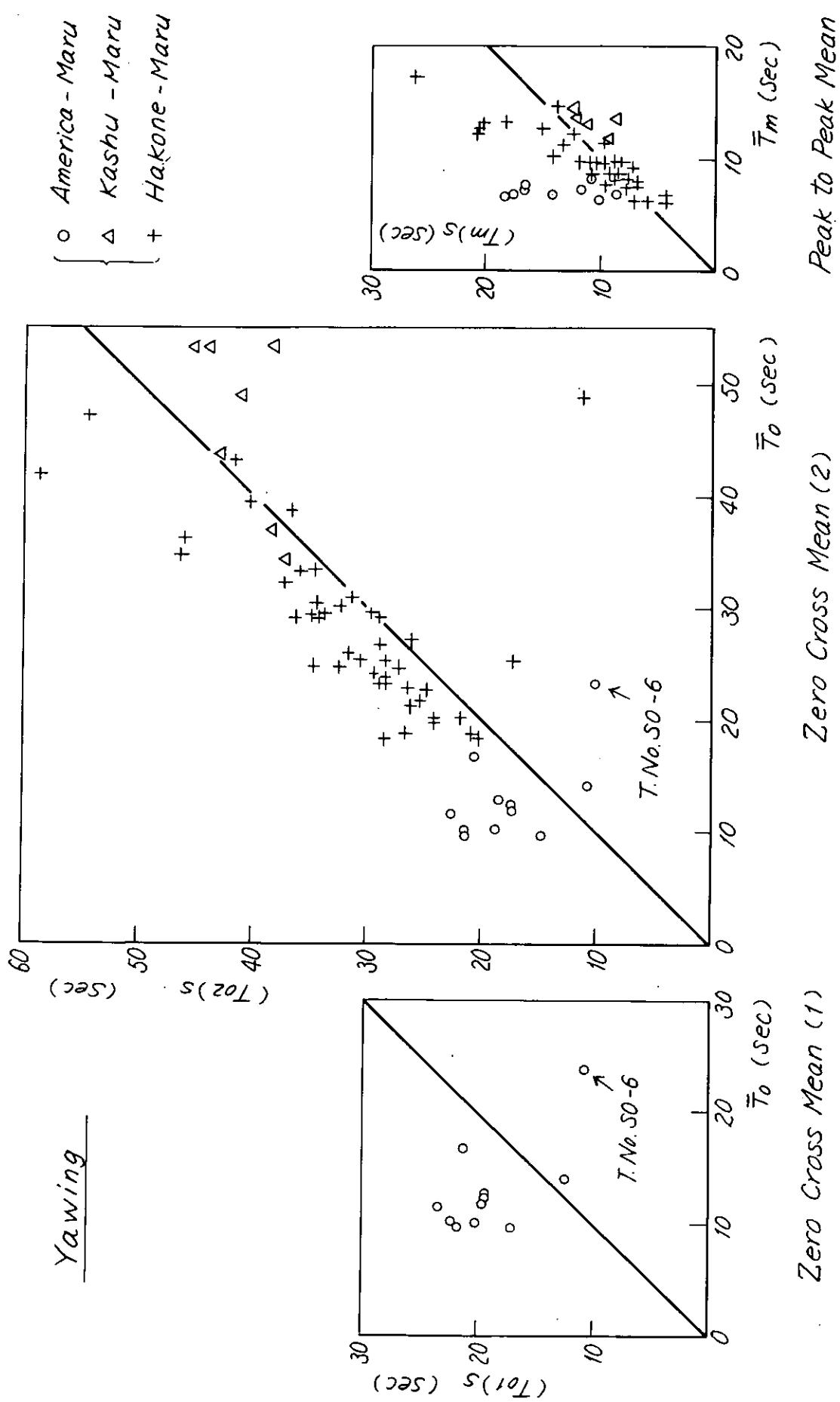


Fig. 3.9-7 ヨウの周期の関係

Rudder Angle

America - Maru

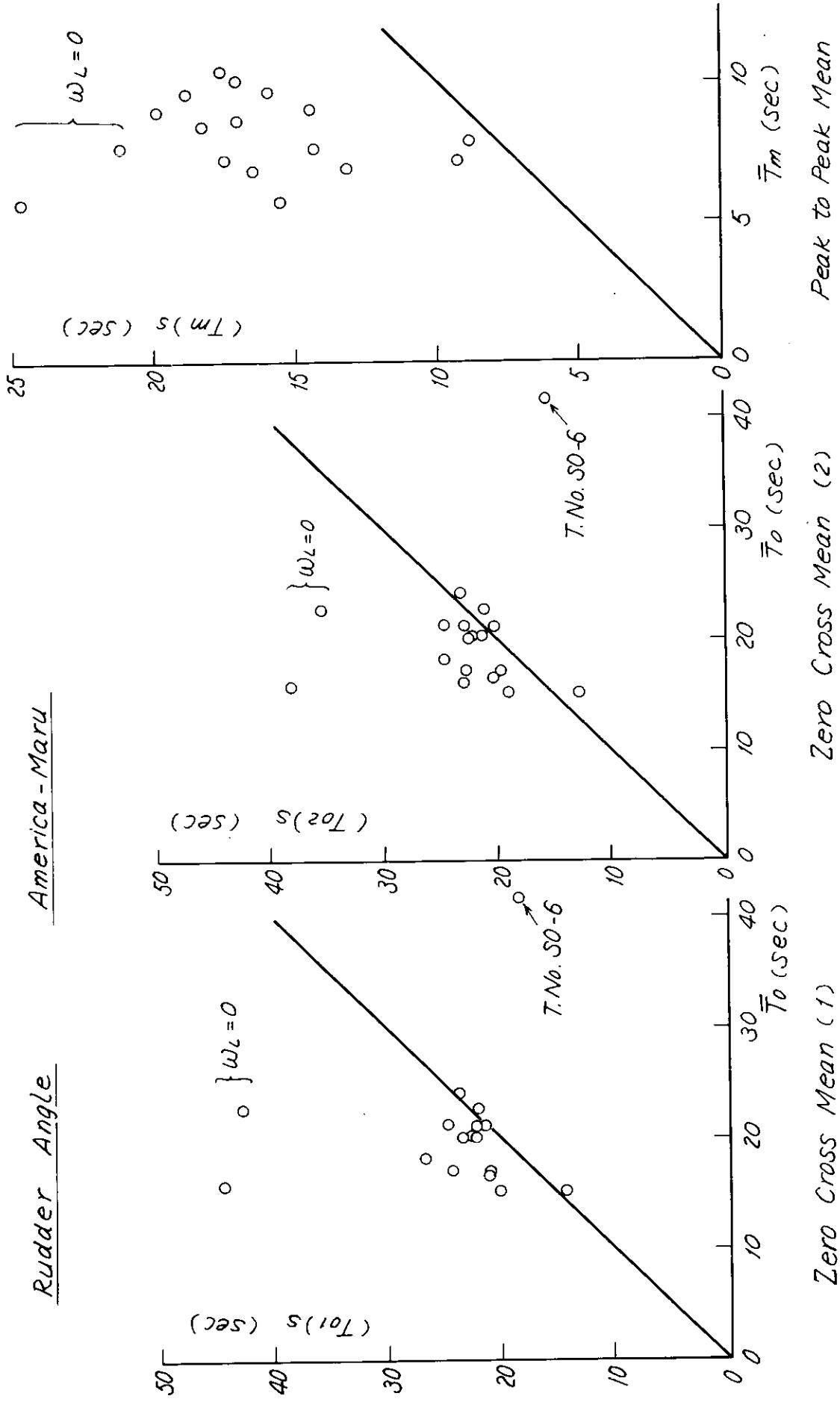


Fig. 3.9-8 航角の周期の関係

Yawing

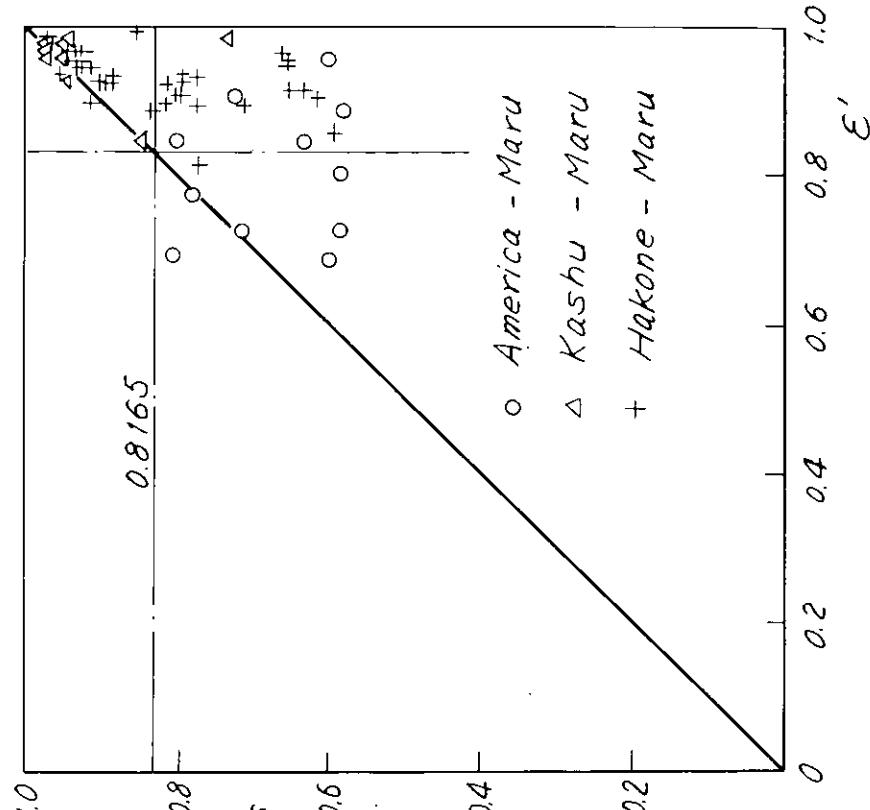
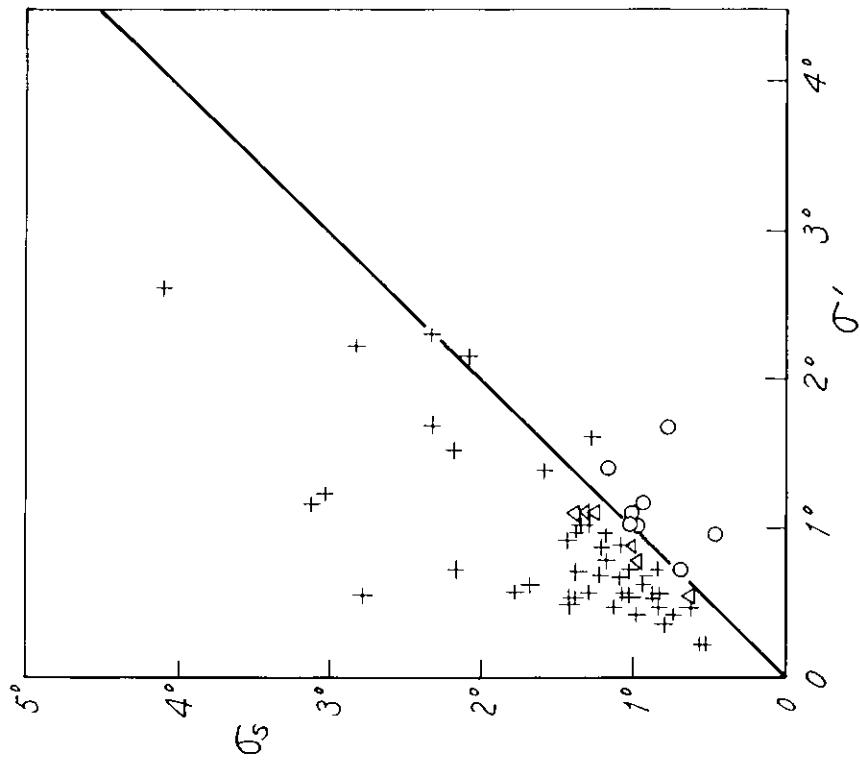
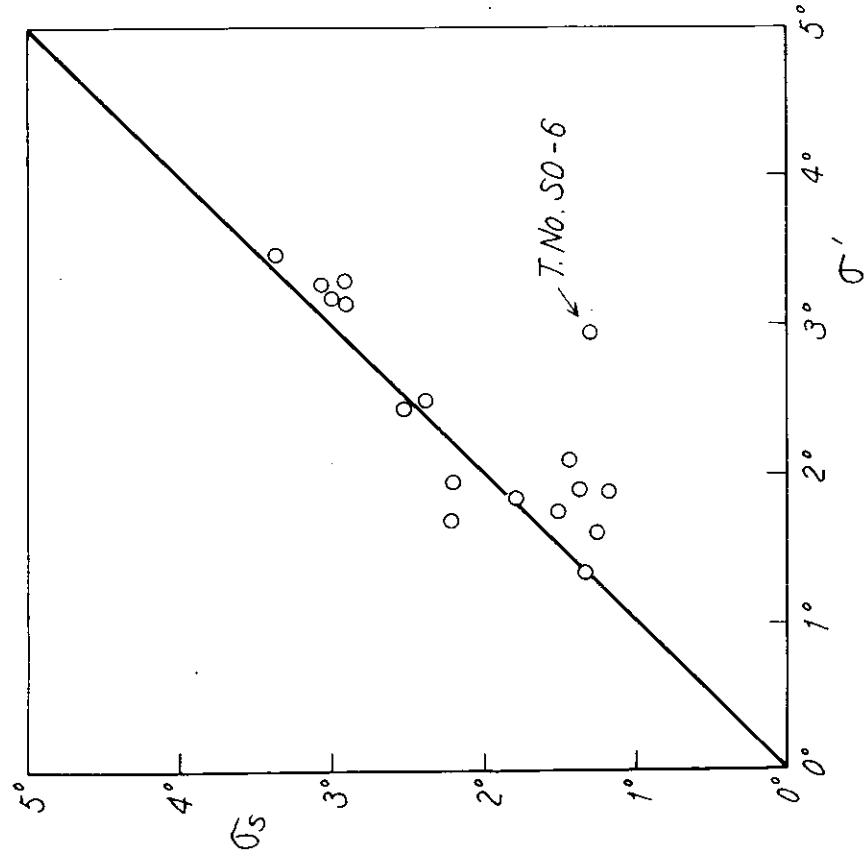


Fig. 3.9-9 ヨウの解析値の関係

Rudder Angle



America - Maru

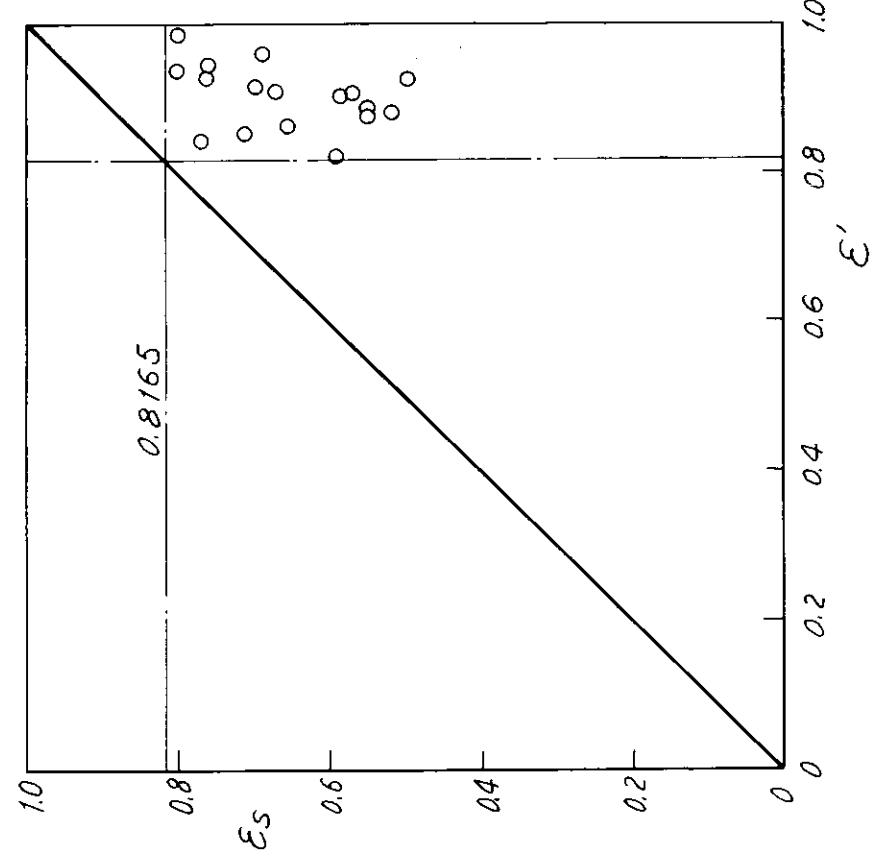


Fig. 3.9-10 舵角の解析値の関係

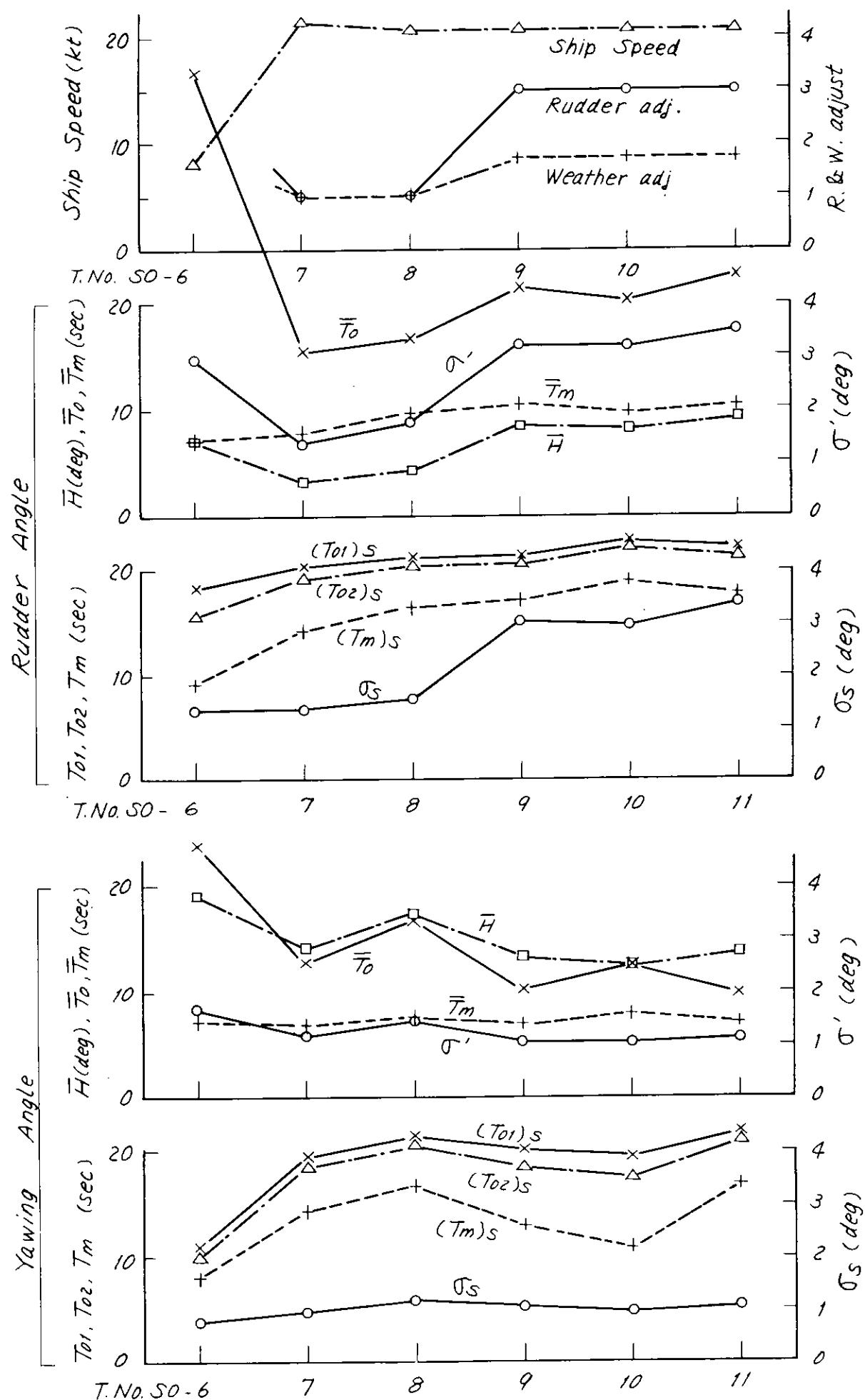


Fig. 3.9-11 オートパイロットの調整の影響

3.10 プロペラ回転数と船速

川重技研 永松宣雄

“こうるでんげいとぶりっじ” 第26次航に於ては、加速度、Roll, Pitch の外に回転数、船速、舵角、Yaw angle, Yaw rate 等も同時に計測した。計測は、各実験1時間について、monitorとして全項目を visigraph に連続記録したが、4ch Data Recorder へは、前半の30分間で、主として、Roll, Pitch, 上下加速度、左右加速度を、後半の30分間の計測では、それらに加えて、回転数、船速、舵角、等の中から、実験毎に色々の組合せで4種の項目をえらび、磁気テープへの収録を行なった。ここでは、その内、回転数、船速を計測したものについての、スペクトル解析及び極値統計解析の結果について述べる。

3.10.1 計測方法

計測方法については、すでに中間報告書に概略を示したが、回転数は、Shaft 部にとりつけてある、本船計器用のタコシュネレーターからの出力電圧を記録している。この出力電圧は、実際には、Captain Deck の Electric Dist-Room から、計測室までとり出してあり、回転数-電圧の Calibration は、出入航時の回転数の低い時にその時の出力電圧と、本船計器の読みにより行なった。

船速については、本船計器と同一のシンクロモーターを使用し、それにボテンショを接続して記録をとった。信号は Engine Room 内の Cont-Box より計測室までとり出している。

3.10.2 解析結果

解析を行なった各実験についての実験番号と各チャンネル毎の計測項目及び、Data数を Table 3.10.1 に、その時の海象その他について、Table 3.10.2 に示す。

Fig. 3.10.1 に rpm, V(船速)についての生の波形についていくつかの例を示している。

本図よりわかるように、rpmについては、(K0-15)のように、運動の小さいときは、長い周期の変化にかなり不規則な短周期の変動がのっているような感じになっているが、(KH-34)の例のように運動、特に Pitching のはげしいような場合には、Pitch とよくにた周期の大きな変動が卓越していることがわかる。

船速については、その波形にはかなりはっきりした特徴がみられるが、これは、実際の現象が必ずしもこの通りだと云うのではなく、計器の特性がある程度入っていると考えるべきであろう。(K0-15)は海象もおだやかで、運動も小さな場合であったが、長い周期のかなり大きな船速変動のあることがわかる。

Table 3.10.3 に極値統計解析より得られた、平均値、最大値、最小値、最大振幅(レーリー分布近似の Double Amp.), T₀(0-cross 周期), T_m(peak to peak 周期)の値を示す。

Fig. 3.10.2 にこれらの記録について解析して得られた、コレログラムのうちいくつかの例を示している。

ここにあげた例は、実験番号(K0-08)のものであるが、rpmについては、本航で一番しけた、(KH-34)のものも同時に示している。これらのコレログラムのうち、特に rpm(回転数)、船速については、他の δ(舵角)、θ(yaw rate)が、Roll とか Pitch' と同様のきれいな形のコレログラムになっているのに対し、かなり、ようすのちがったものになっていることがわかる。恐らく、計測時間全体にわたって、長い周期の平均値の変動のようなものが含まれているためと思われるが、スペクトルを算出する過程で何らかの数値計算上の問題を含むものかも知れない。

Fig. 3.10.3～Fig. 3.10.8 にスペクトル分布を示す。

Fig. 3.10.3 に於ては、rpmについては、パワーとしては小さいが顕著な2ヶ所の山がみとめられ、 $\omega_e = 0.76$

あたりの peak は pitching のスペクトラムの peak に一致しており、 rpm 変動のかなりのものが pitching によりもたらされることがわかる。又 ω_e の低い部分では、その一つの peak は rolling のそれと一致している。

船速についてのスペクトルは、いくつかの山をもっているが、その中の1つは、 Rolling に対するものの2つの peak のうちの $\omega_e \approx 0.37$ のものに一致しているが、他のものについては、他の現象との明確な関連はこの図からはつかめない。

Fig. 3.10.4 では、 yaw rate $\dot{\theta}$ に2つの山がみられ、 rpm もやはり同じ所に山をもっている。 $\omega_e = 0.16$ 付近には、この他、 $\dot{\delta}$ (rudder angle) の peak もきており、この部分の rpm の変動パワーは、 $\dot{\theta}$ によりもたらされ、 $\dot{\theta}$ の変動もやはり $\dot{\theta}$ によりもたらされたと見るべきであろう。 $\omega_e \approx 0.8$ 付近の山については、丁度このあたりに、この実験時の pitching の周期がきており、この pitching により、 rpm, $\dot{\theta}$ の変動がもたらされたと考えることができる。

船速の方は、前図と同様他の現象との明確な関連はつかめないが、 $\omega_e \approx 0.22$ 付近に顕著な peak がみられる。

Fig. 3.10.5 は、海象のおだやかなときの、 V, rpm の変動を調べるための実験であったが、 rpm, $\omega_e \approx 0.26$ あたりの peak は、 Fig. 3.10.1 の生の波形 (Kō-15) の長い周期のものに対応していると考えられる。また roll, pitch ともに非常に小さいにもかかわらず、船速については、かなりパワーの大きな、はっきりした peak の山がみとめられる。

Fig. 3.10.6 では、 $\omega_e = 0.12$ あたりで、 $\dot{\delta}$, $\dot{\theta}$, rpm, roll の peak が完全に一致しており、又 $\omega_e = 0.73$ あたりで rpm, pitching の peak が一致している。 $\omega_e = 0.12$ 付近の様子より、舵角 $\dot{\delta}$ により rpm, $\dot{\theta}$ のみならず、 rolling も誘起されていることがわかる。左おことに記した roll, pitch のスペクトラムは、同時記録のものでなく、この計測の30分前のものである。

Fig. 3.10.7 では、 Fig. 3.10.6 にみられたと同様の $\omega_e = 0.12$ 付近での $\dot{\delta}$, rpm, $\dot{\theta}$ のスペクトラムの peak の一致がみられる。

Fig. 3.10.8 は、本航段大の時化のときのものであり、このとき、 pitching の最大振幅 13.0° を記録したが、 rpm のスペクトラムが、 pitching とよく似た広がりをもった、大きなパワーの山を示しているのに反し、一方 rolling もはっきりした peak をもつ大きな山のスペクトラムにもかかわらず、その付近では、 rpm に何ら変動パワーがもたらされていないことがわかる。

3.10.3 結論

以上の解析結果より、つぎのようなことが云える。

rpm については、そのスペクトルははっきりした特徴をもち、舵角 $\dot{\delta}$ の peak に一致する peak と、 pitching の peak と同一のところに出る peak の二つの顕著な peak をもち、 rpm 変動は、主として舵角と pitching によりもたらされると考えてよい。

一方、船速変動に関しては、原波形は、かなり特徴をもったものであるにもかかわらず、以上の解析結果だけからは、他の現象との何ら明らかな関連は得られない。

Table 3.10-1 計測項目

	1ch	2ch	3ch	4ch	Data 数
KO-07	Roll	Pitch	rpm	V	1257
KO-08	θ	δ	rpm	V	1400
KO-15	Roll	Pitch	rpm	V	1247
KH-29	δ	$\dot{\theta}$	θ	rpm	1373
KH-33	δ	$\dot{\theta}$	θ	rpm	1389
KH-34	Acz	Acy	Acd	rpm	896

Table 3.10-2 海象，その他

ITEM 実験番号	Wind		Wave		Swell		備考
	Force	方向	Scale	方向	Scale	周期	
KO-07	5	On 5°	5	1°	7	6'	1° Spray at F'cle
KO-08	6	P 20°	6	30°	6	12'	10° "
KO-15	5	P 35°	5	104°	4	7'	125° Calm
KH-29	3	S 30°	3	80°	5	13'	S 40° Sometimes Spray at F'cle
KH-33	9	P 35°	9	—	8~10	9'	32° Heavy Spray Shock, はげしい
KH-34	10	S 27°	9	—	8	12'	35° " とくに猛烈 LV.

Table 3.10-3 統計解析結果

	Mean	Min	Max.	σ	$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	H_{max}	T_0 (sec)	T_w (sec)
Kō-07									
rpm	107.95	104.0	111.7	0.787	4.24	5.39	5.32	8.34	4.68
V	20.74	19.41	22.59	0.461	1.93	2.45	2.03	15.83	7.81
Kō-08									
δ	2.37	-6.63	9.39	3.52	14.08	17.90	12.90	39.97	6.44
rpm	109.57	106.74	112.59	0.874	3.50	4.45	4.93	7.56	4.28
V	20.91	19.69	22.63	0.4697	1.88	2.39	2.32	15.04	8.09
Kō-15									
Roll	1.28	-1.481	4.786	0.925	3.705	4.710	5.95	23.73	13.93
Pitch	1.422	0.794	1.914	0.2017	0.808	1.027	0.997	15.8	6.34
rpm	112.0	109.53	124.87	1.8786	7.52	9.56	3.68	13.2	2.74
V	21.79	19.75	23.5	0.6826	2.73	3.48	3.10	16.84	9.34
KH-29									
δ	0.804	-10.12	9.38	4.51	18.10	23.0	14.9	49.9	5.02
$\dot{\theta}$	-0.0547	-0.996	0.822	0.285	1.142	1.45	1.44	11.73	6.87
rpm	108.44	104.96	112.54	0.938	4.461	5.67	5.95	9.8	5.39
KH-33									
δ	3.699	-4.39	10.89	3.68	14.76	18.76	12.52	48.7	4.7
$\dot{\theta}$	0.438	-0.692	1.515	0.323	1.29	1.64	1.49	9.04	5.51
rpm	107.56	104.67	111.95	0.92	4.53	5.76	6.33	8.16	3.91
KH-34									
rpm	92.2	86.67	98.14	1.896	7.60	9.66	8.45	9.18	5.58
Roll	3.70	-8.58	2.74	1.581	6.33	8.05	11.45	19.0	7.14
Pitch	2.58	-5.04	8.58	1.629	6.52	8.29	13.0	8.27	6.63

単位は

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Roll, Pitch, } \delta \text{ (舵角) } \cdots \text{ degree} \\ \text{rpm } \cdots \text{ rpm} \\ V \cdots Kt \\ \dot{\theta} \text{ (yaw rate) } \cdots \text{ degree/sec} \end{array} \right.$

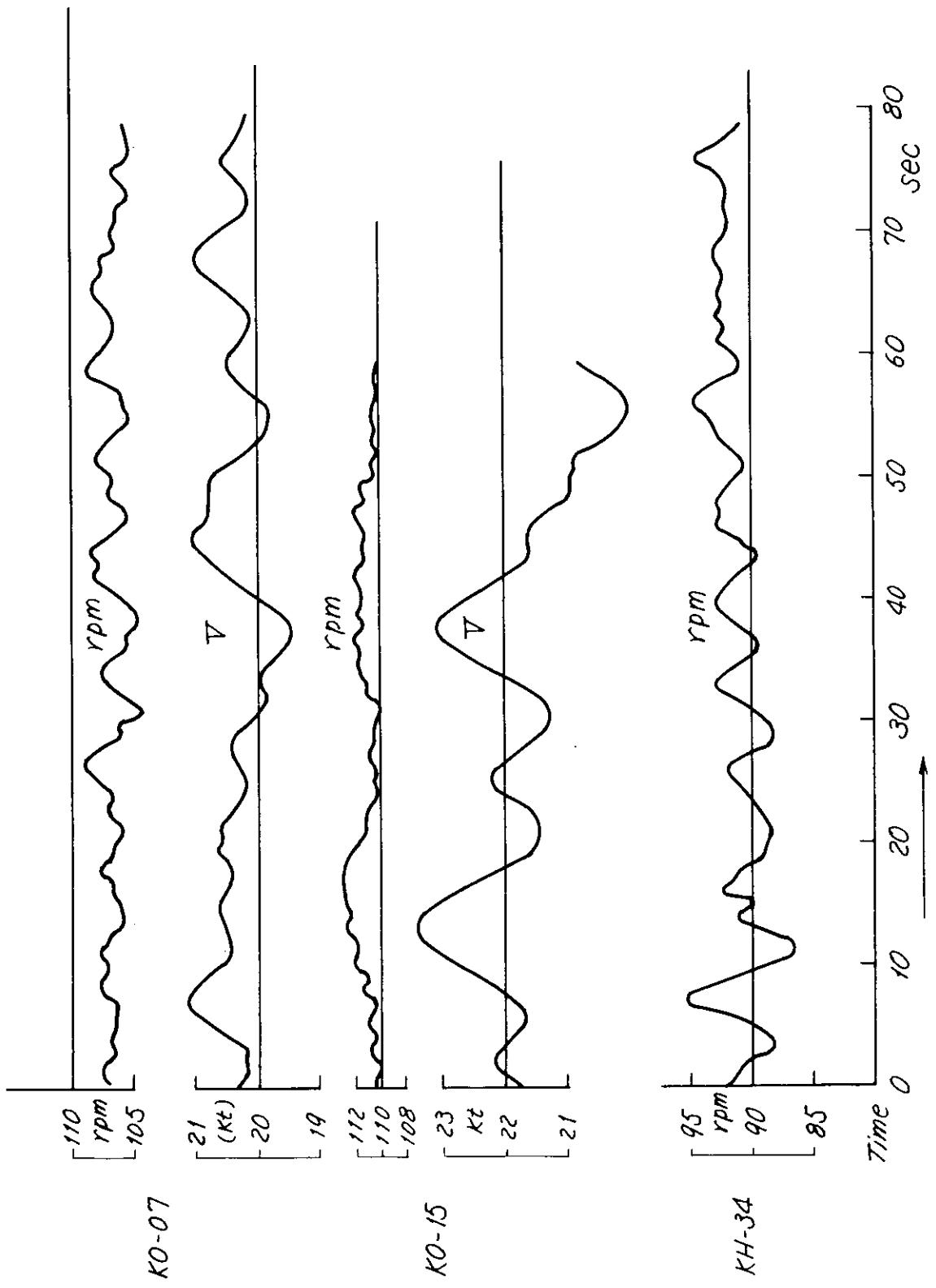


Fig. 310-1 原波形の例

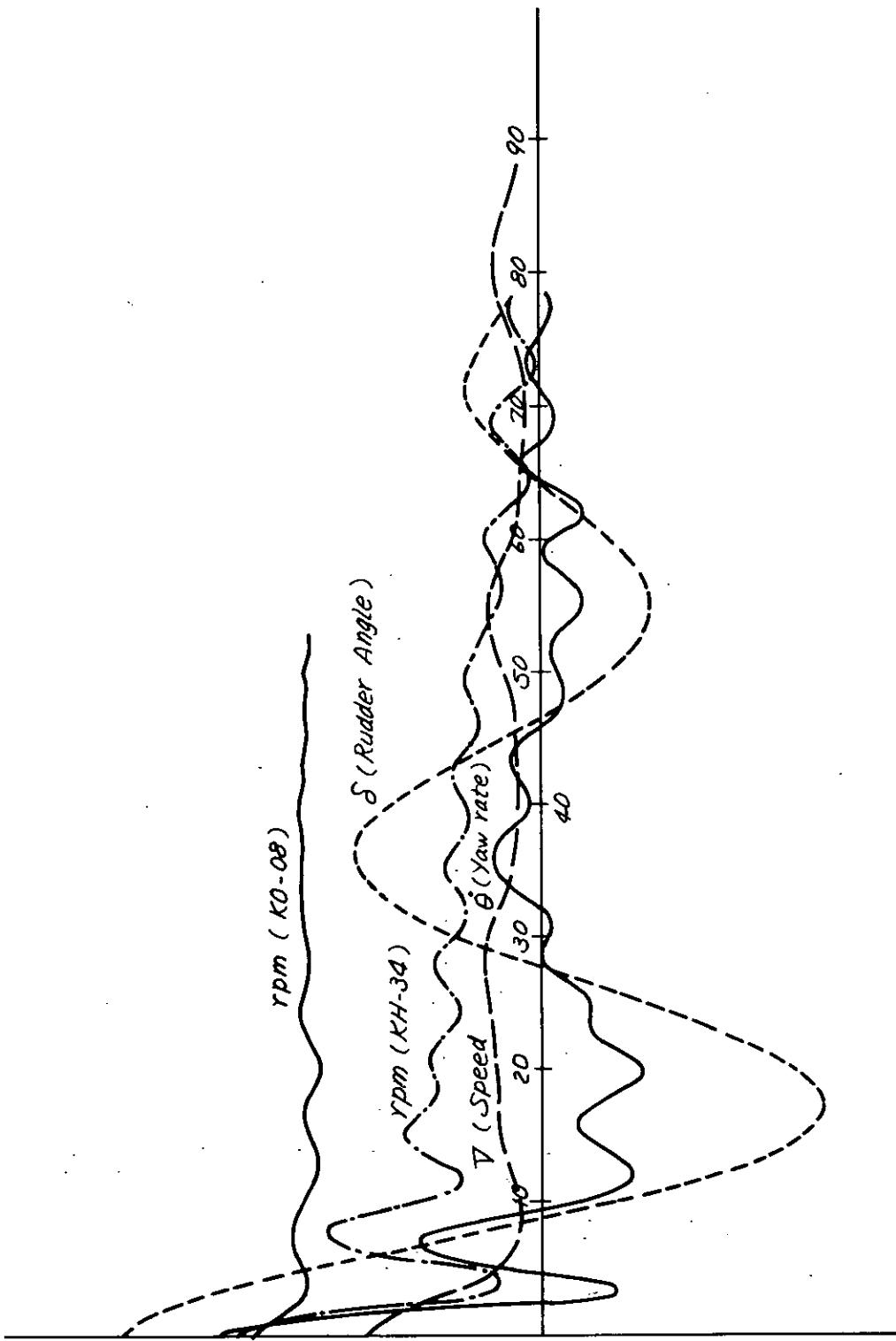


Fig. 3.10-2 CORRELOGRAM ϕ 形の比較

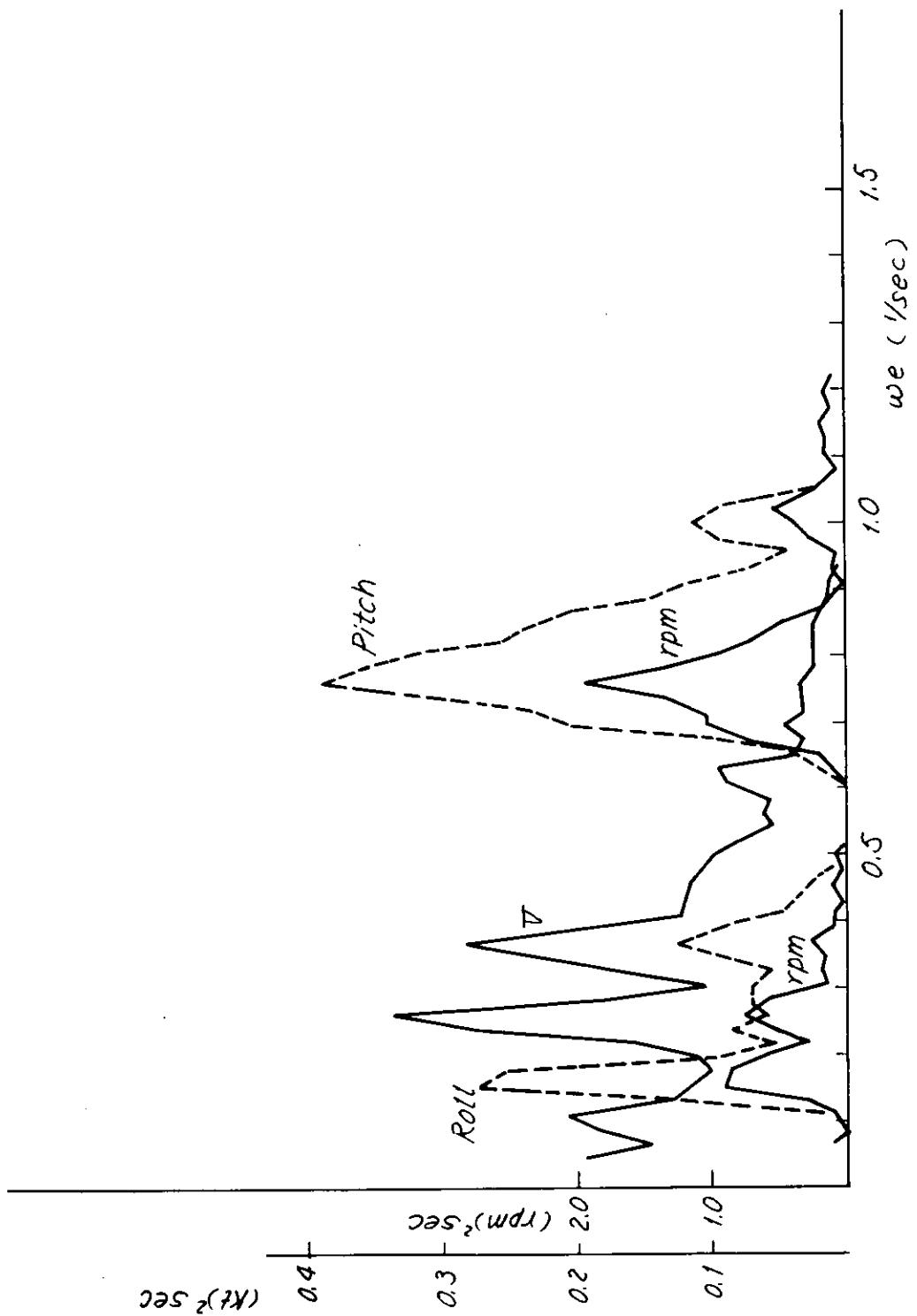


Fig. 3.10-3 SPECTRUM KO - 07

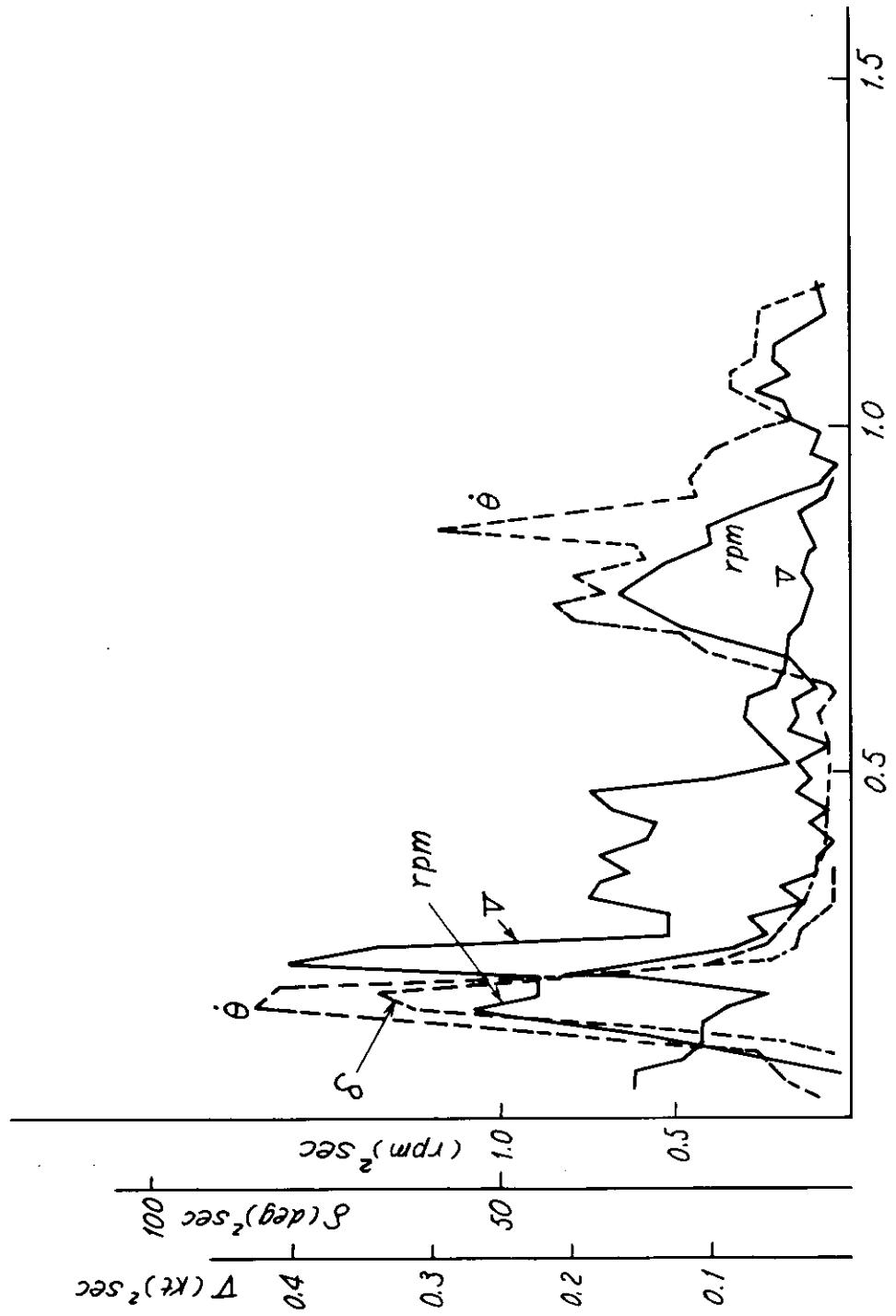


Fig. 3.10-4 SPECTRUM KO - 0.8

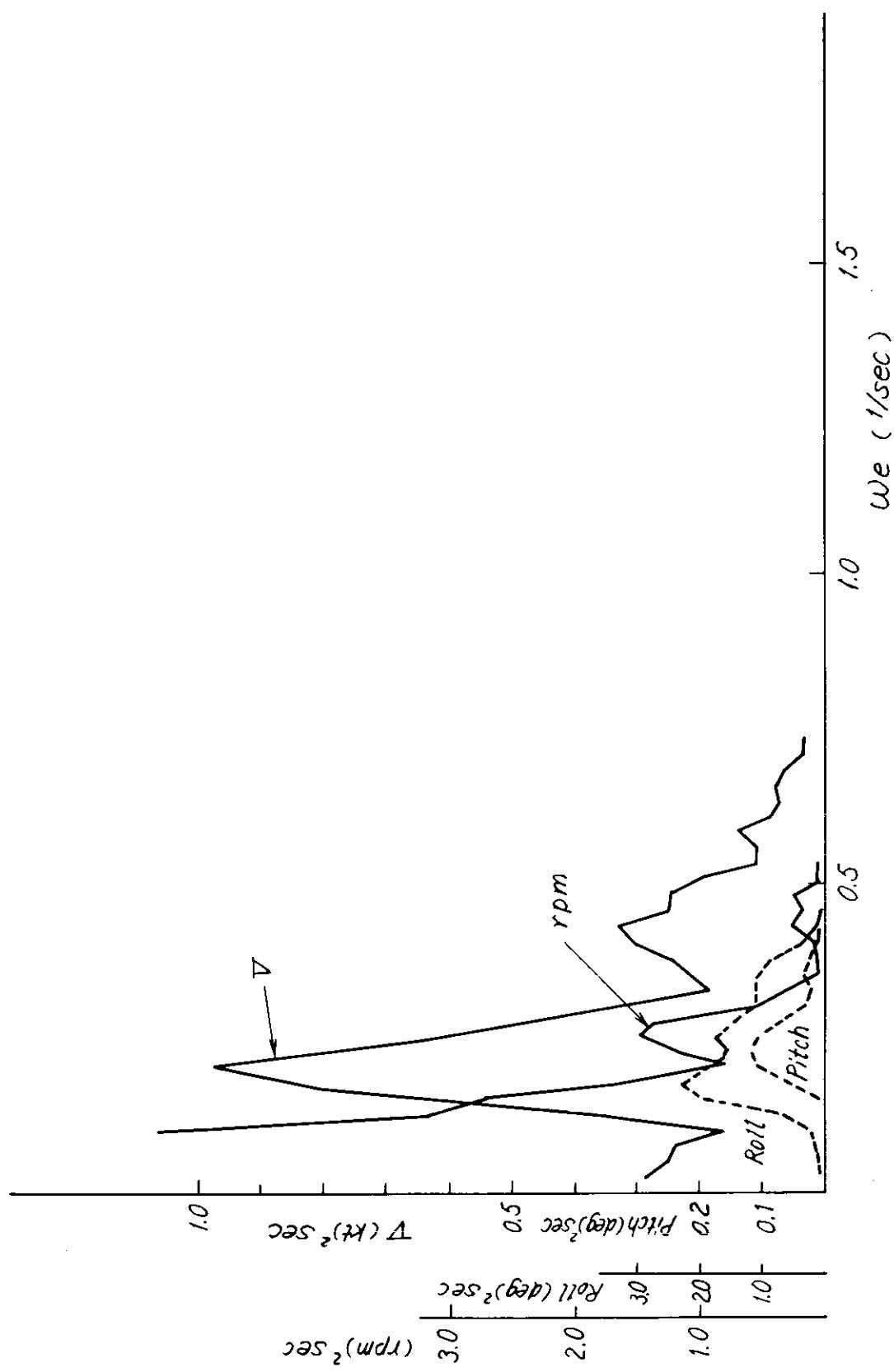


Fig. 3.10-5 SPECTRUM KO-15

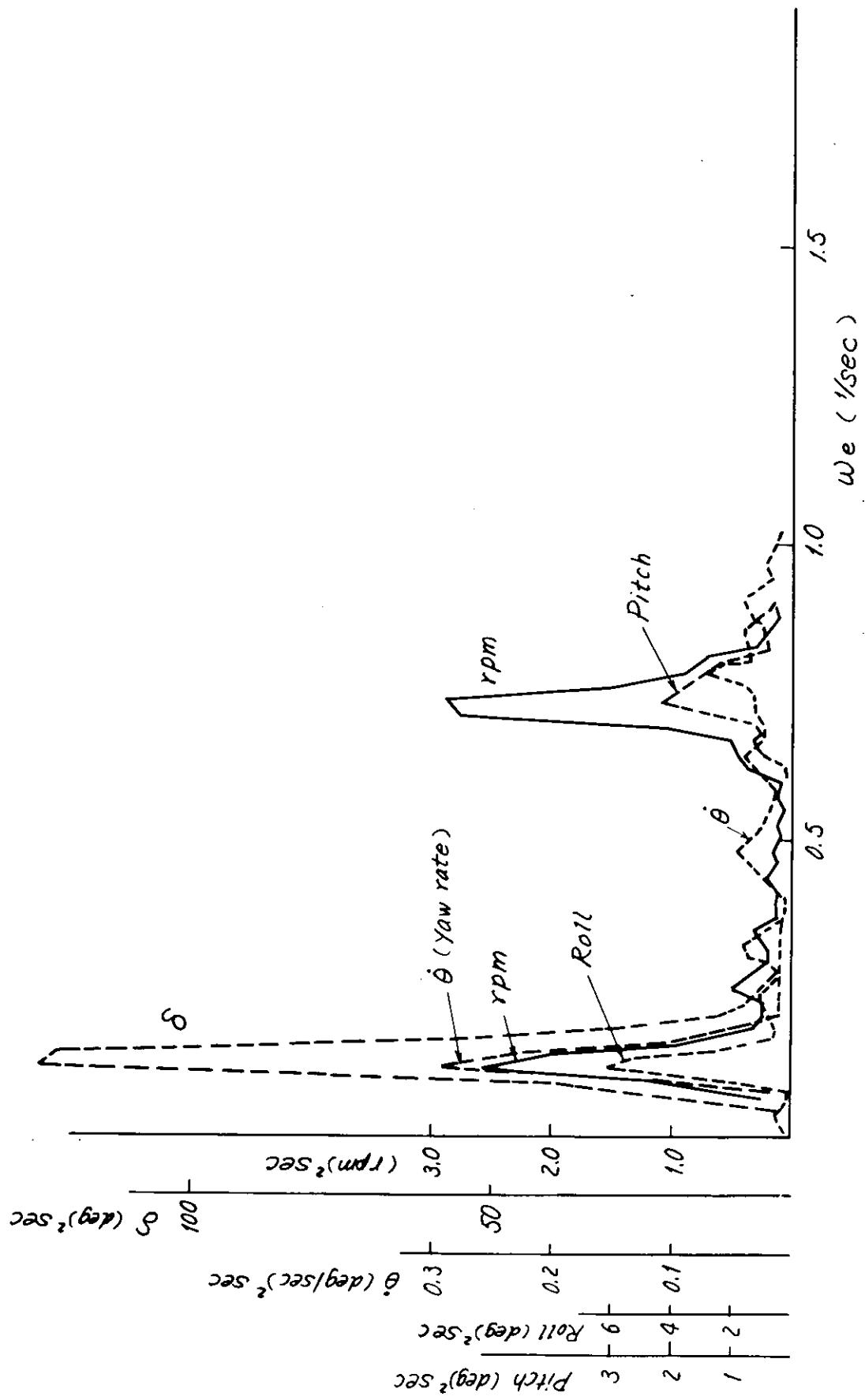


Fig. 310-6 SPECTRUM KH-29

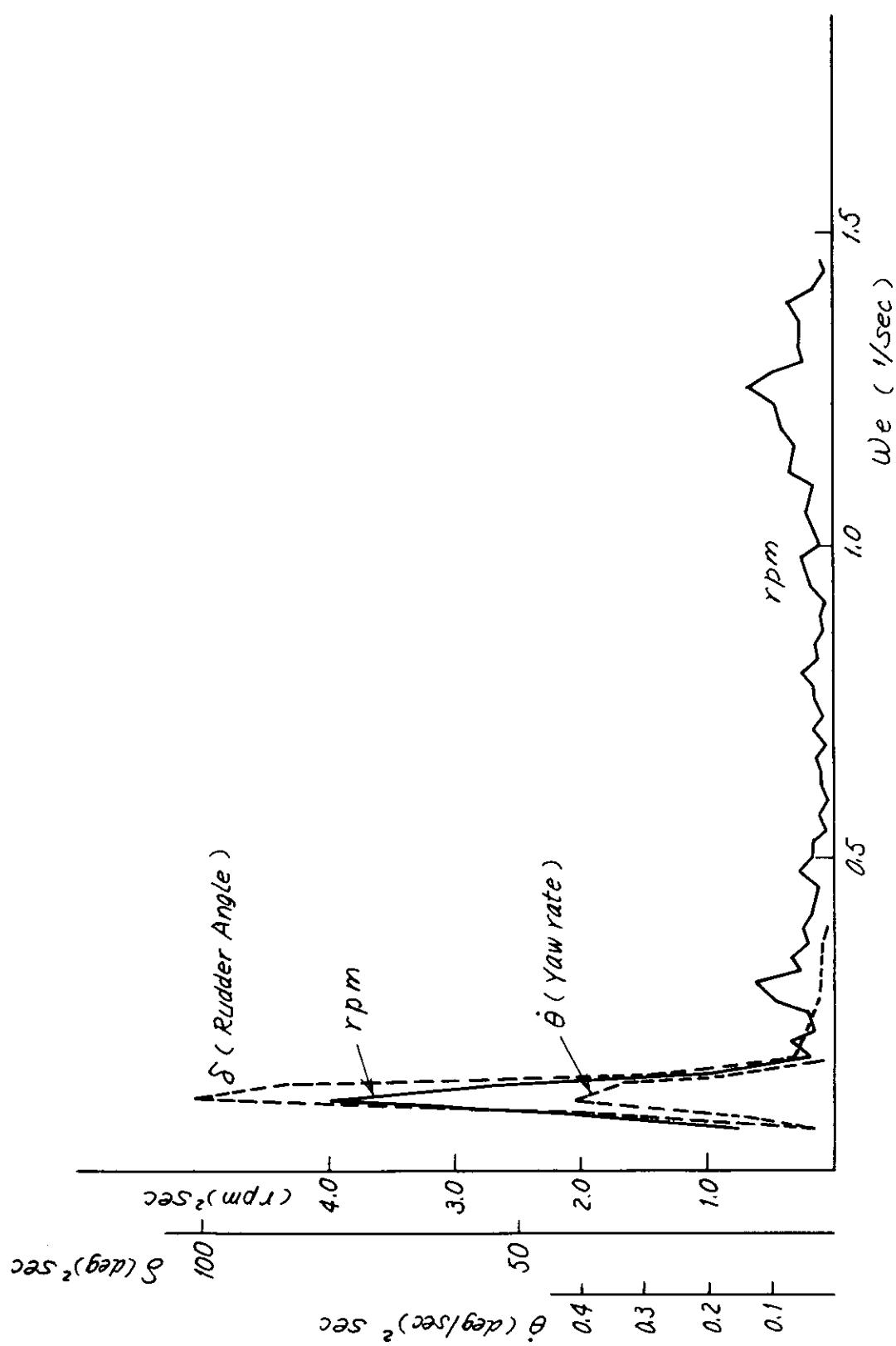


Fig. 3.10-7 SPECTRUM KH-33

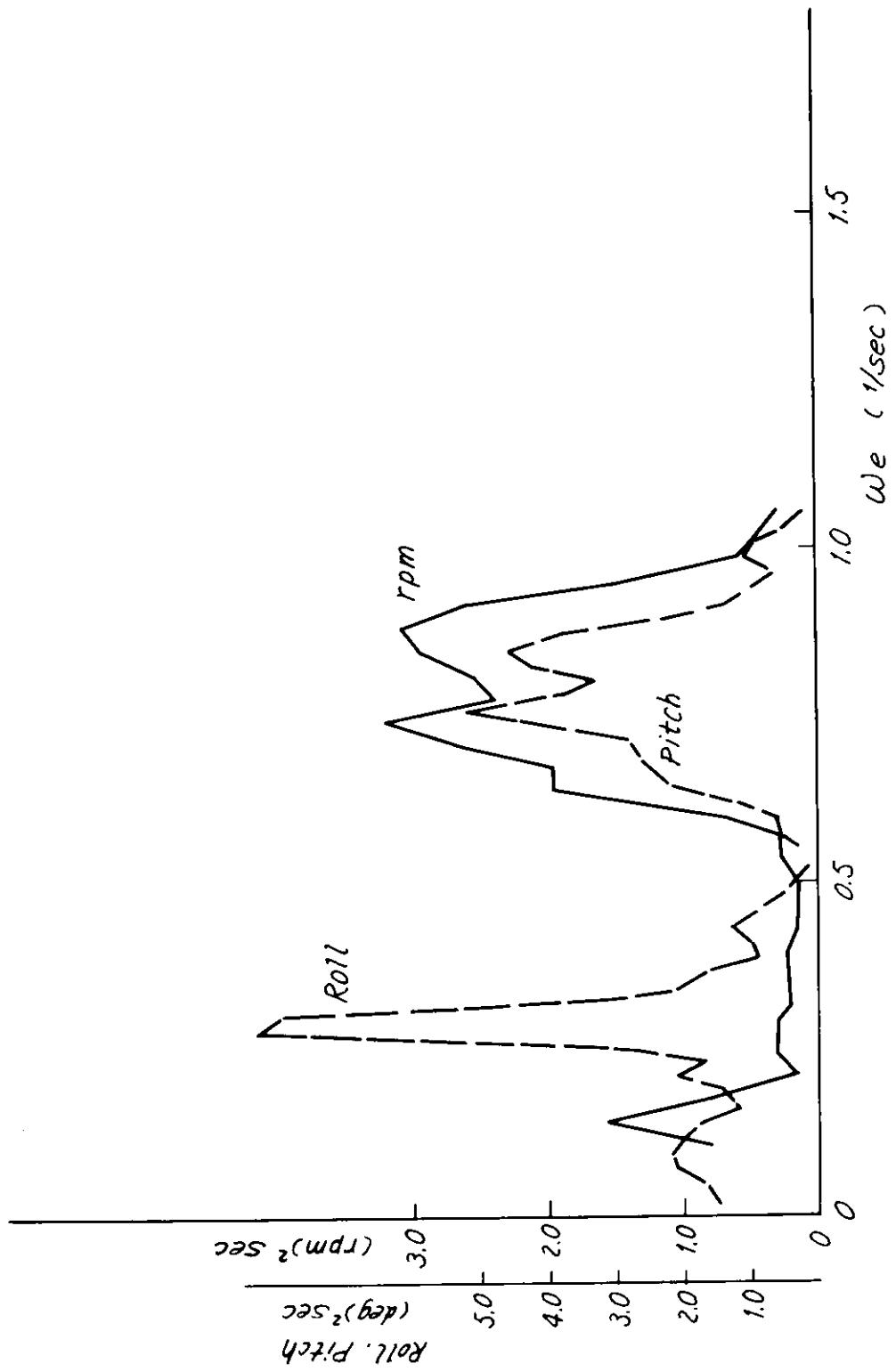


Fig. 310-8 SPCTRUM KH-34

3.11 波浪による縦応力(変動値)

石川島播磨重工業 田中久仁雄

3.11.1 計測の概要

縦応力は Fig. 3.11-1 に示すとく Midship 近くの位置の上甲板の右舷に 1ヶ所抵抗線式歪ゲージを貼付け動歪計によって計測した。計測はピッチ、ロールおよび船首部の上下加速度と同時にない、1回の計測時間は約30分である。計測ケースのうち、磁気テープに収録したのは 13 ケース(往航 3 ケース、復航 10 ケース)である。

3.11.2 解析結果

解析は船体運動で行なったのと同じ方法で、統計解析とスペクトラム解析について実施した。

統計解析結果を Fig. 3.11-2、スペクトラムを Fig. 3.11-3(a), (b) に示す。Fig. 3.11-2(b)より帶域幅パラメータ(ϵ)が 0.5~1.0 の間にあるが、Fig. 3.11-2(a)のごとく平均値(\bar{H})と各統計値(σ , H_{rms} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$)との関係は $\epsilon = 0$ のときの理論値にはば一致している。縦応力についても船体運動の場合と同じことがいえる。

Fig. 3.11-3(a), (b) では、一般に云われているように縦応力は、ピッチおよび船首部の上下加速度と密接な関係があり、ロールとの間には関連は少ないようみうけられる。船体運動にくらべてエネルギーの存在する周波数の範囲は広く、とくに高い周波数にわたっている。

スペクトラムのほとんどが Fig. 3.11-3(b) に示した型であるが、Fig. 3.11-3(a) のように円振動数 0.25 $1/\text{sec}$ (周期 25 秒) 附近の非常に低周波数の領域にもピークがあるものが 2~3 例ある。

Fig. 3.11-4 に Shudder 現象発生時の縦応力と船首部の上下加速度の記録の一部を示す。船体運動によって生ずる縦応力の上にかなり大きな振動によって生ずる応力が重複し、Shudder 現象の強さによって異なるが 30 秒~70 秒程度持続している。この振動による応力の周期は 1.0 秒以下であり、船体運動と同じ解析方法、つまりサンプリングタイムを 1.0 秒で解析したのでは、この周波数成分が落ちて、もとの記録を忠実に解析したことにならない。(サンプリングタイム 1.0 秒で解析したのが前出の Fig. 3.11-3(b) である)。そこで Fig. 3.11-4 に示したデータについてサンプリングタイムを 0.1 秒にして解析した結果が Fig. 3.11-5(a), (b) である。

Fig. 3.11-5(a) は上下加速度、(b) は縦応力である。ただし解析の都合で、データ数は約 4,500 (記録時間の約 $1/4$ で Shudder 現象の影響が顕著に現われている部分を選んだ)，ラグ数 150 で解析した。このため、低周波数部分でスペクトラムの計算は少しラフになっている。

Fig. 3.11-5(b) において円振動数が $0.84 1/\text{秒}$ (周期 7.5 秒) 附近と $6.7 1/\text{秒}$ (周期 0.94 秒) 附近にスペクトラムのピークが現われている。前者は船体運動によって生ずる縦応力のピークであり、後者は振動によって生ずる応力のピークである。Fig. 3.11-5(a) の上下加速度のスペクトラムも同様であるが、高い周波数の部分は縦応力のスペクトラムほど顕著でない。縦応力のスペクトラムが示すように Shudder 現象が生ずる時の縦応力では、振動による応力のエネルギーがかなり大きいことが判る。

振動による応力のスペクトラムのピークから振動数を算出すると 64 c.p.m となり、本船の 2 節上下の振動数に一致する。

このように海象によっては、振動による応力が大きくなることが予想されるので、船体構造上、とくに疲労強度などについて十分吟味する必要があろう。しかし、その主な原因と考えられる Shudder 現象の実態が現在よ

く判っていないので今後この方面、たとえば Shudder 現象発生時の船首部の圧力と船体運動あるいは緯応力の関連およびこれらと海象、気象の関連などについて調査・研究する必要があると考える。

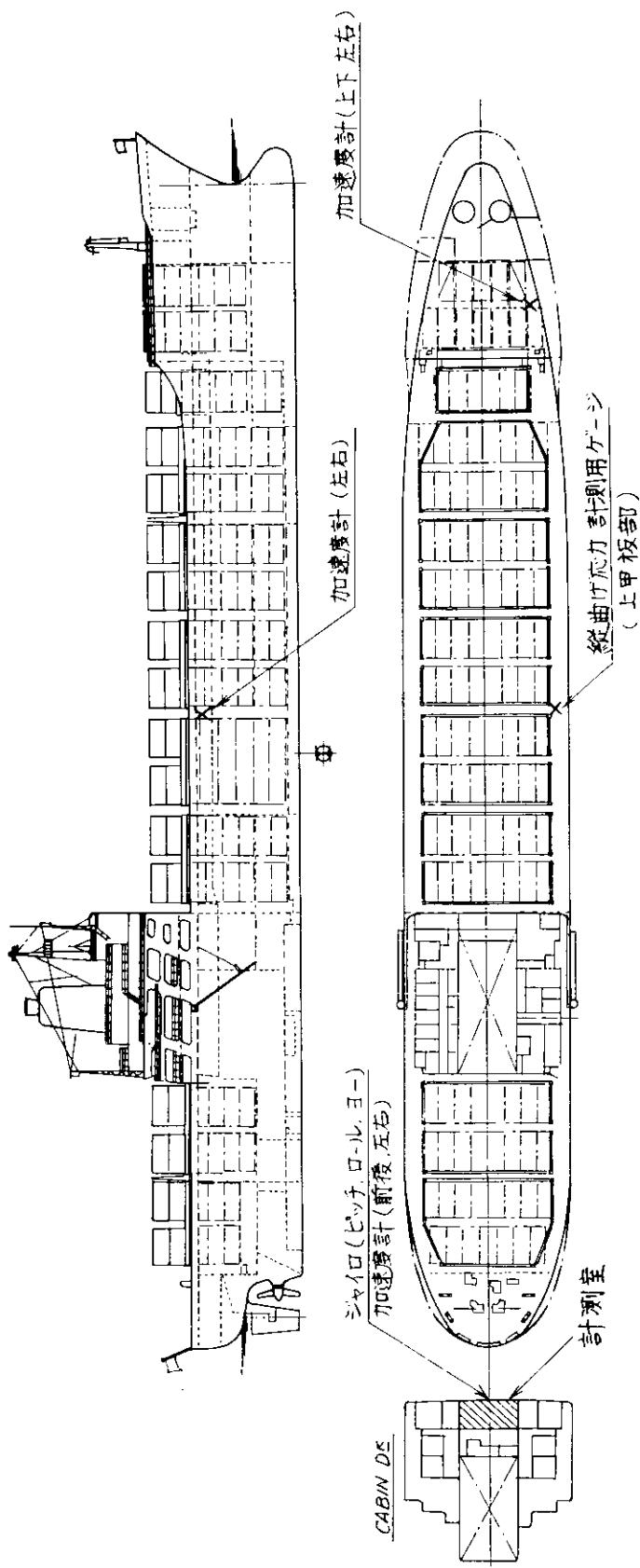
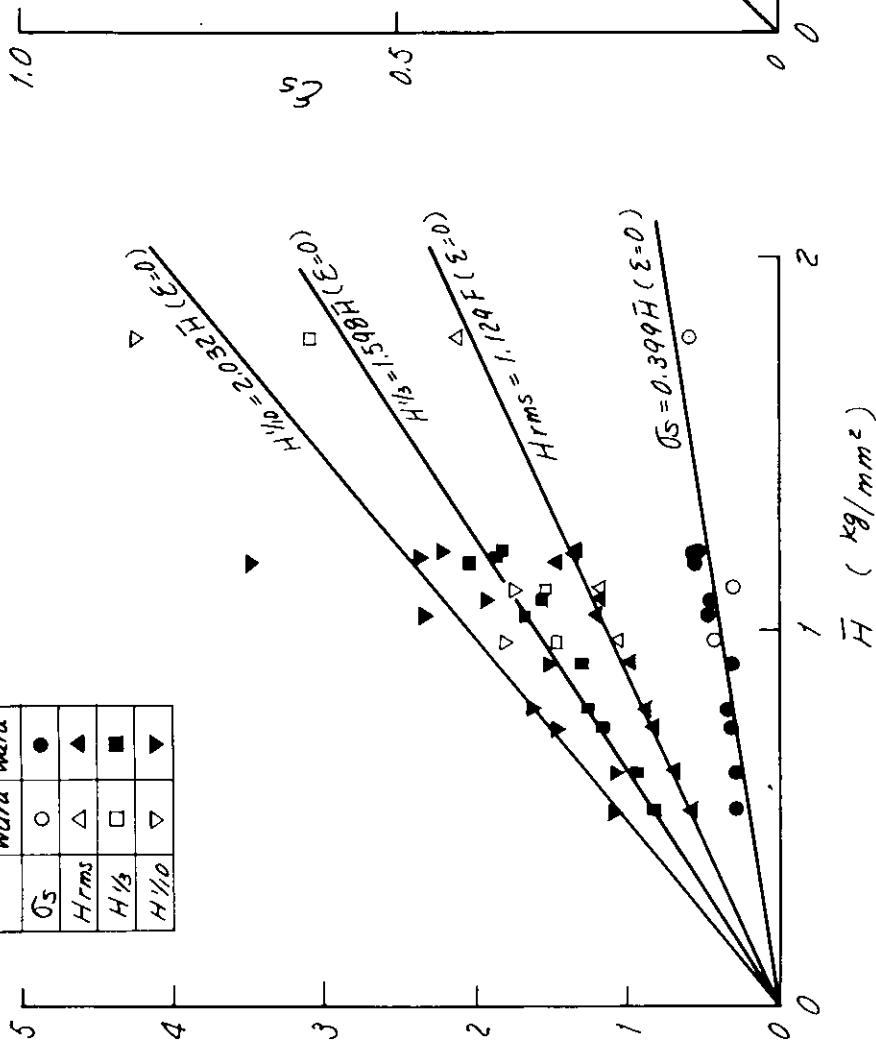


Fig. 3.11-1 計測位置

Longitudinal Stress

σ_s	Out Ward	Home Ward
H_{rms}	○	●
H_{13}	△	▲
H_{10}	□	■
$H_{1/0}$	▽	▼

$\sigma_s, H_{rms}, H_{13}, H_{10} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$



(a)

Longitudinal Stress

Out Ward
Home Ward

σ_s

H_{rms}

H_{13}

H_{10}

$\bar{H} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

1.0

0.5

0

ε'

(b)

Fig. 3-11-2 統計解析結果

Exp. No. 10 - 010

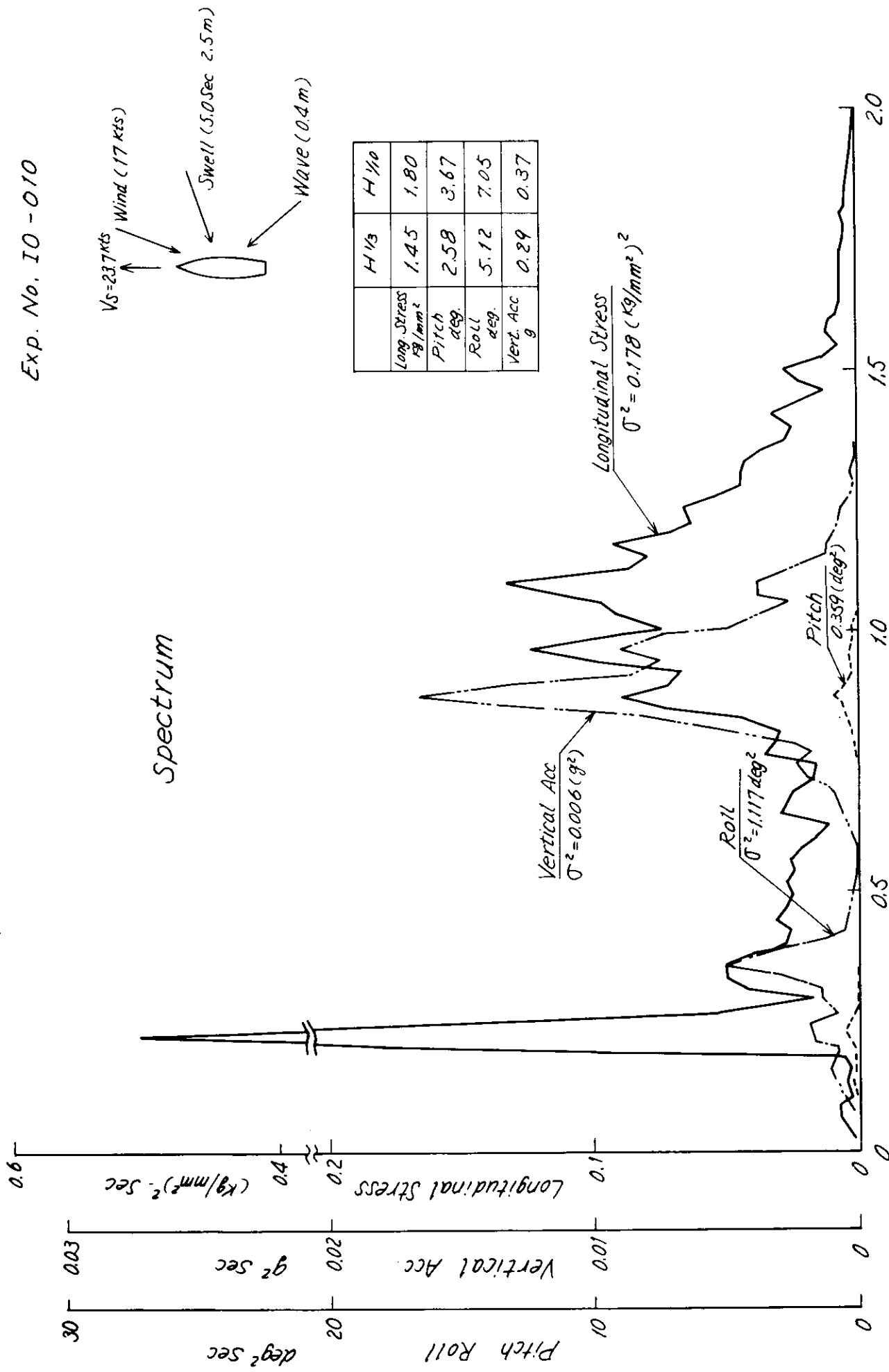
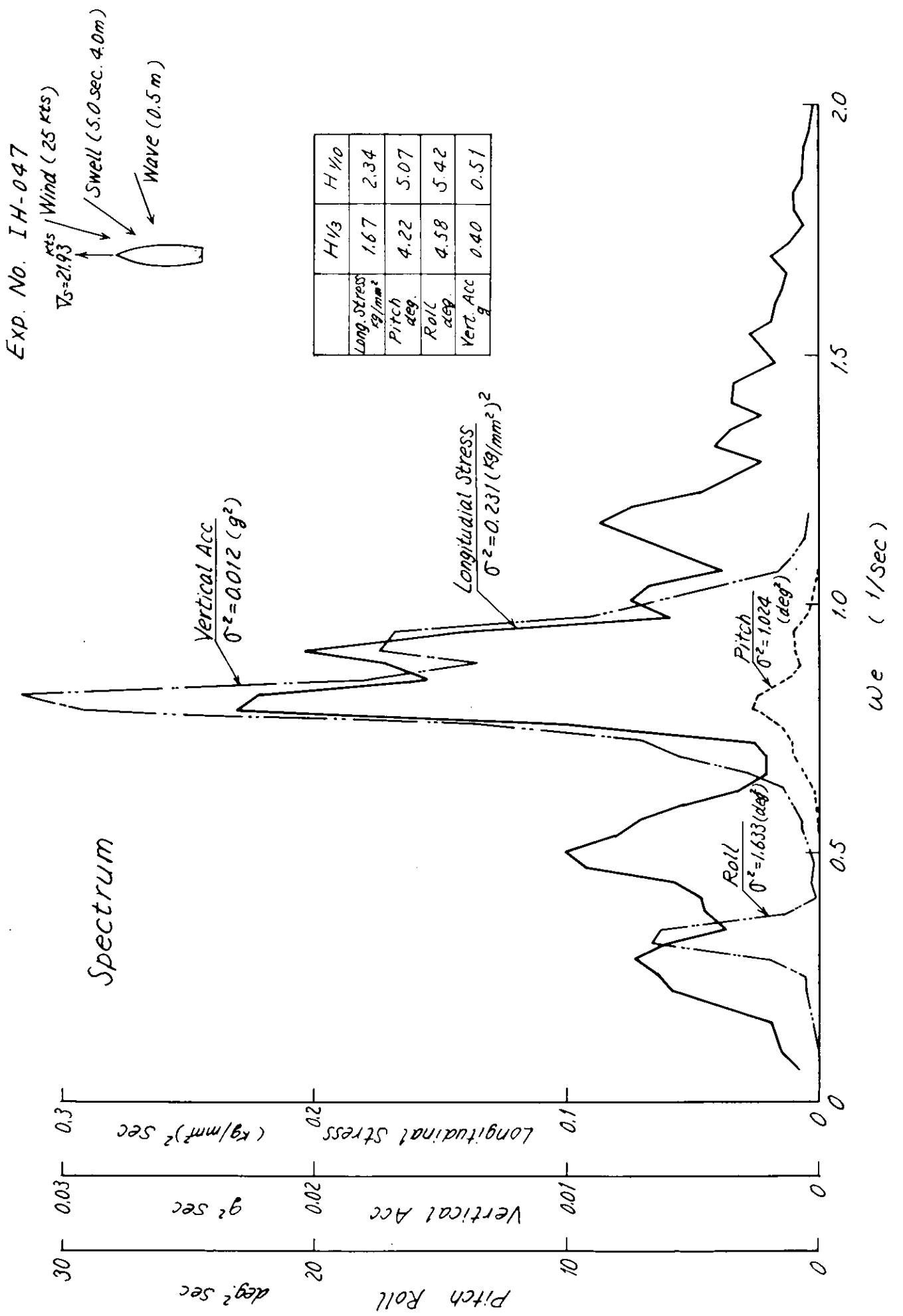


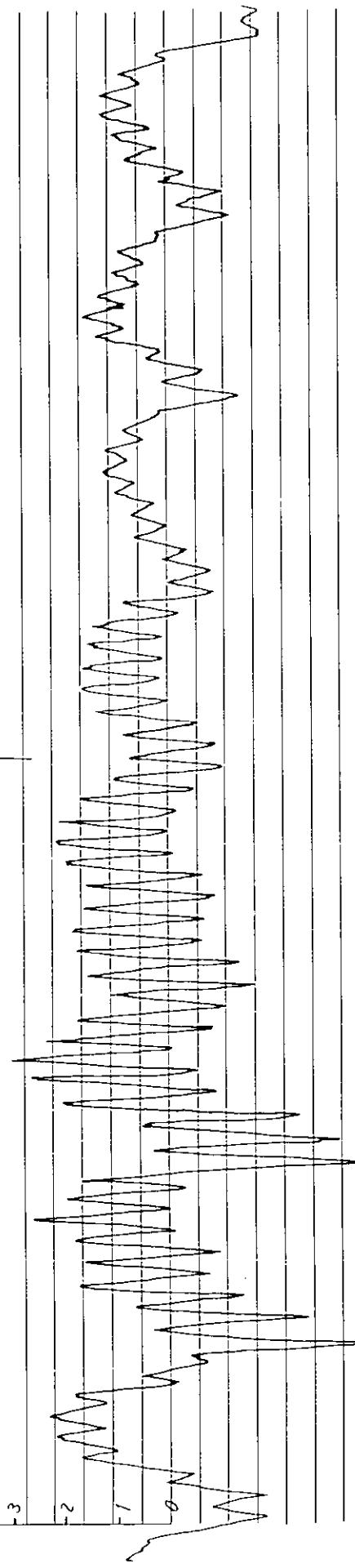
Fig. 3.11 - 3 (a)



5 kg/cm^2

Comp.

Longitudinal Stress



Vertical Acceleration (at Bow) BOW DOWN

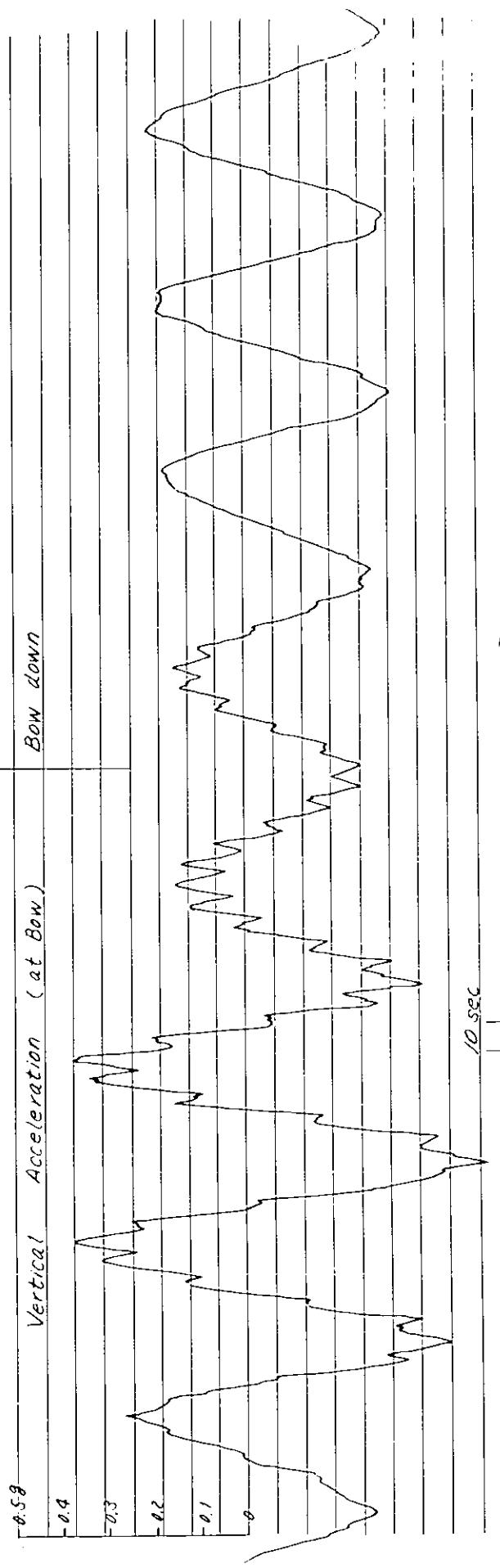
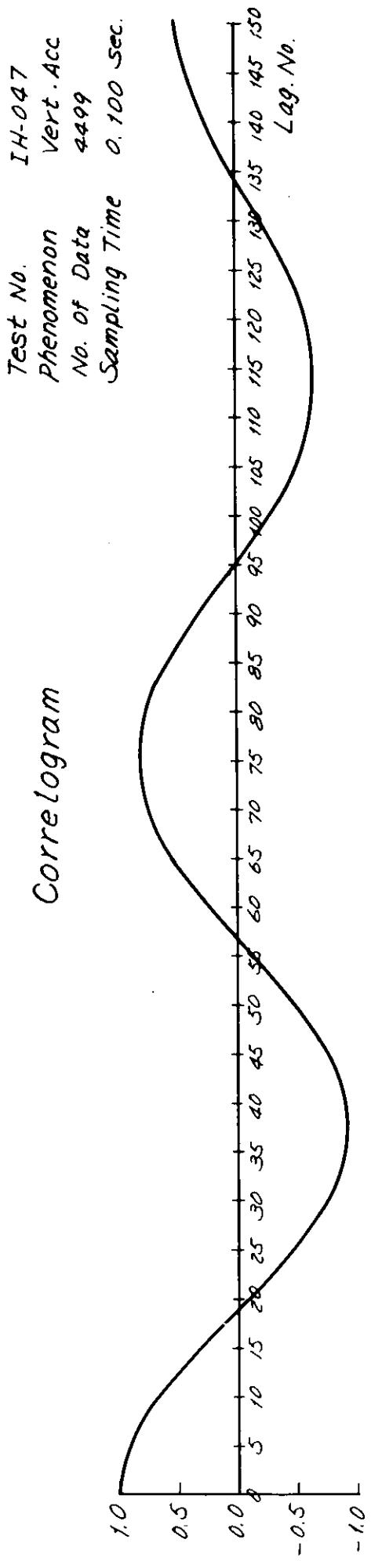


Fig. 3.11-4 Sudden 呏象発生時の Longitudinal Stress の記録 (一部)
(Exp. No. TH-047)

Correlogram



Spectrum

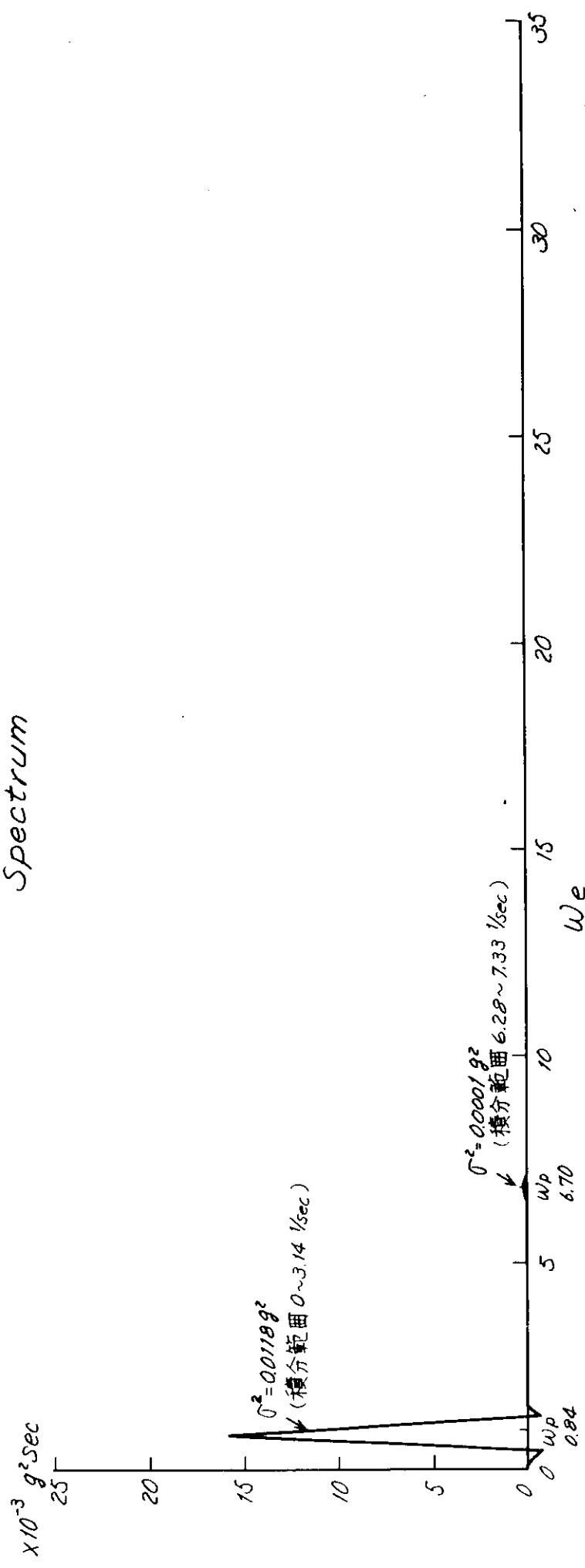
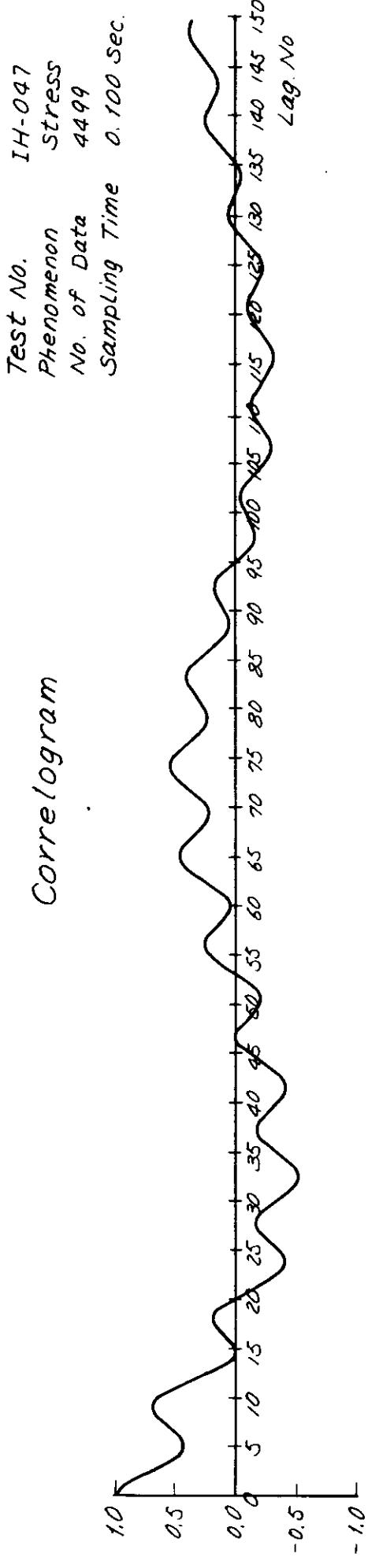


Fig. 3.11-5(a) 上下 加速度

Correlogram



Spectrum

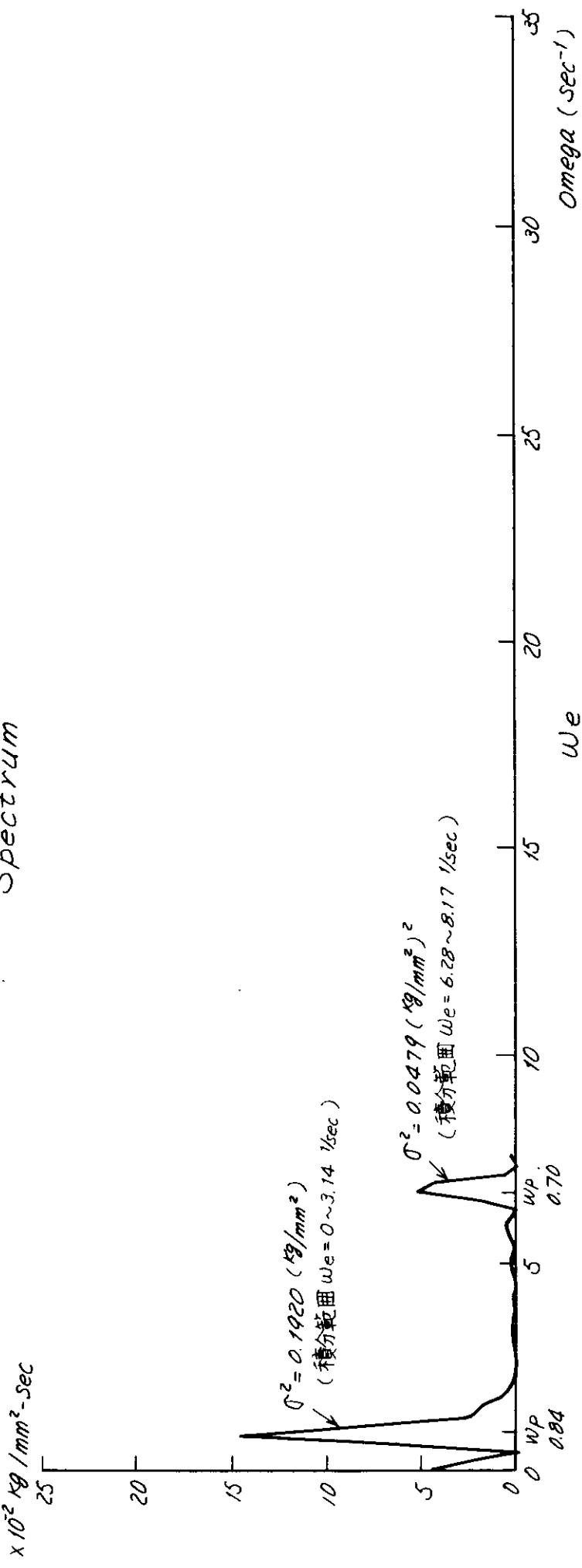


Fig. 3.11-5 (b) 線応力

3.12 減揺タンクの効果

横浜国大 竹沢誠二

供試船は例外なく減揺タンクを装備していたので、減揺タンクを作動させた場合とさせない場合の比較試験がいくつかのチームで試みられた。

なお、これらの減揺タンクに対する評判は、これも例外なく好ましいものではなく、減揺タンクを使用しないで航海する船が多くあった。これらの減揺タンクの設計条件として使用したローリング固有周期および重心の高さと実際の運動状態におけるこれらの数値に差がありすぎたことが、このような懐疑をも含めた原因であると言われている。評判はともかくとして、今回の試験では減揺タンクの効果を定量的に検討するために上記の試験を行なったわけである。

Fig. 3.12-1, 2 に横浜国大チームの実験で得られた例を示す。本図にはローリング角のスペクトラムが減揺タンク使用時と使用していない場合について比較して示されている。これらの実験は図中に記入されているように、減揺タンクの注排水直後に行なわれており、海況も比較的安定していた日を選んで実施しているので、ほぼ比較試験の目的を達していると考えられる。Fig. 3.12-1, 2 では $\omega = 0.4 \text{ (1/sec)}$ すなわち $T \approx 16 \text{ sec}$ 附近に典型的な減揺タンク (A.R.T.) の効果を見ることができる。

本航での往航の平均 GM は約 1.36 m 、復航では約 1.0 m であるが、本船の A.R.T. の計算書によると、これらの場合は出会い周期約 16 sec および 18 sec が同調周期となるが、これらの値は A.R.T. の設計条件に近く効果が大なる場合になっている。特に $GM = 1.3 \text{ m}$ の場合には Fig. 3.12-1 に示されているように典型的な 2 つの山が出ることになっている。このように A.R.T. 計算書の示す特性と Fig. 3.12-1, 2 とは定性的には合っている。すなわち A.R.T. は設計条件の近くでは予期した性能を発揮できている。図で見るとエネルギー・スペクトラム上では相当な効果があるよう見えるが、ローリング角の有義値では約 20% 減に過ぎない。ここに A.R.T. の効果について錯覚を生じさせる一因があるように思われる。Fig. 3.12-3, 4 には同一実験におけるホイール・ハウス内のスウェー方向の水平加速度のスペクトラムを示したが、ロール角の加速度を示すかのようにロール角との関係が深く、したがって A.R.T. の効果も典型的に示されている。A.R.T. 作動時にはロール角と同様に双峯特性を示すが、高周波域の峯が高くなることが異なる傾向である。この事が A.R.T. 作動時の不自然な揺れにつながっているものと思われる。

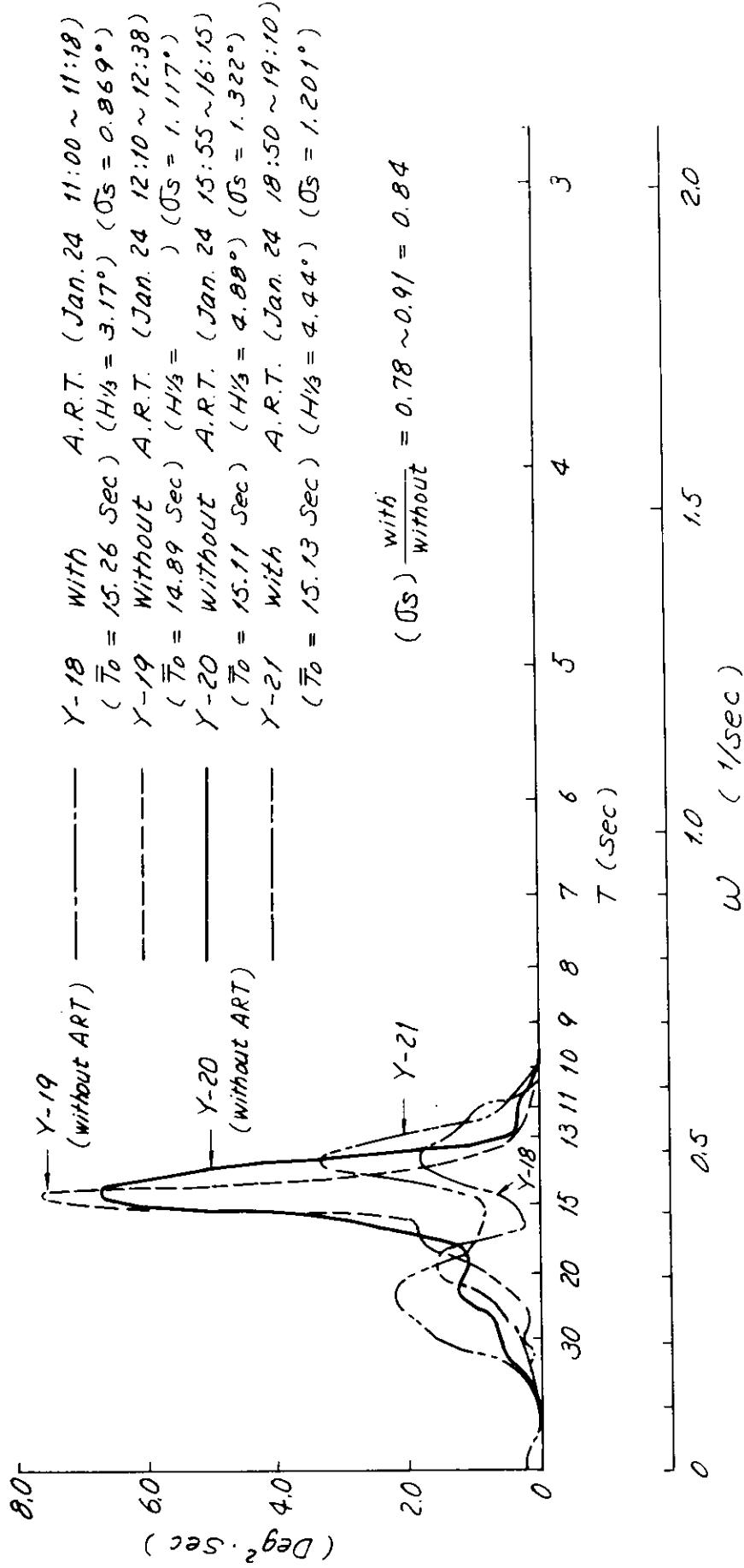
横浜国大チームの例はロール角の全振幅の有義値で $4^\circ \sim 6^\circ$ の小角度の場合であったが、全振幅の有義値が $10^\circ \sim 20^\circ$ 程度の中角度の場合を、Fig. 3.12-5 (日立チーム)、Fig. 3.12-6 (船研チーム) に示す。これらでの A.R.T. の効果はロール角で約 30% となっており、小角度の場合と同程度と思われるが、A.R.T. 作動時のスペクトラムが单峯特性になっているところが異なる。Fig. 3.12-6 では F.P. における横水平加速度に横浜国大の場合と同様に A.R.T. の効果が現われている。

Fig. 3.12-7 には住重・鋼管チームの大角度ローリングの場合を示す。この場合は A.R.T. の効果によるロール角の減少は約 3% となっており、効果は小である。このような大角度時のデータはこれ一つであり、この時のローリングの周期と本船の A.R.T. の最適周期がづれているので断定できないが、大角度時には効果は小になる傾向のように思われる。

ゼロ・クロスの平均周期は A.R.T. 使用時にロール角ではほんの少し長くなり、横水平加速度では逆ほんの少し短くなるようである。

Difference Between with Anti-rolling-Tank
and without Anti-rolling-Tank

Roll Spectrum (Y.N.U. - Outward)
 $GM = 1.36m$



Difference Between with Anti-Rolling-Tank
and Without Anti-Rolling-Tank

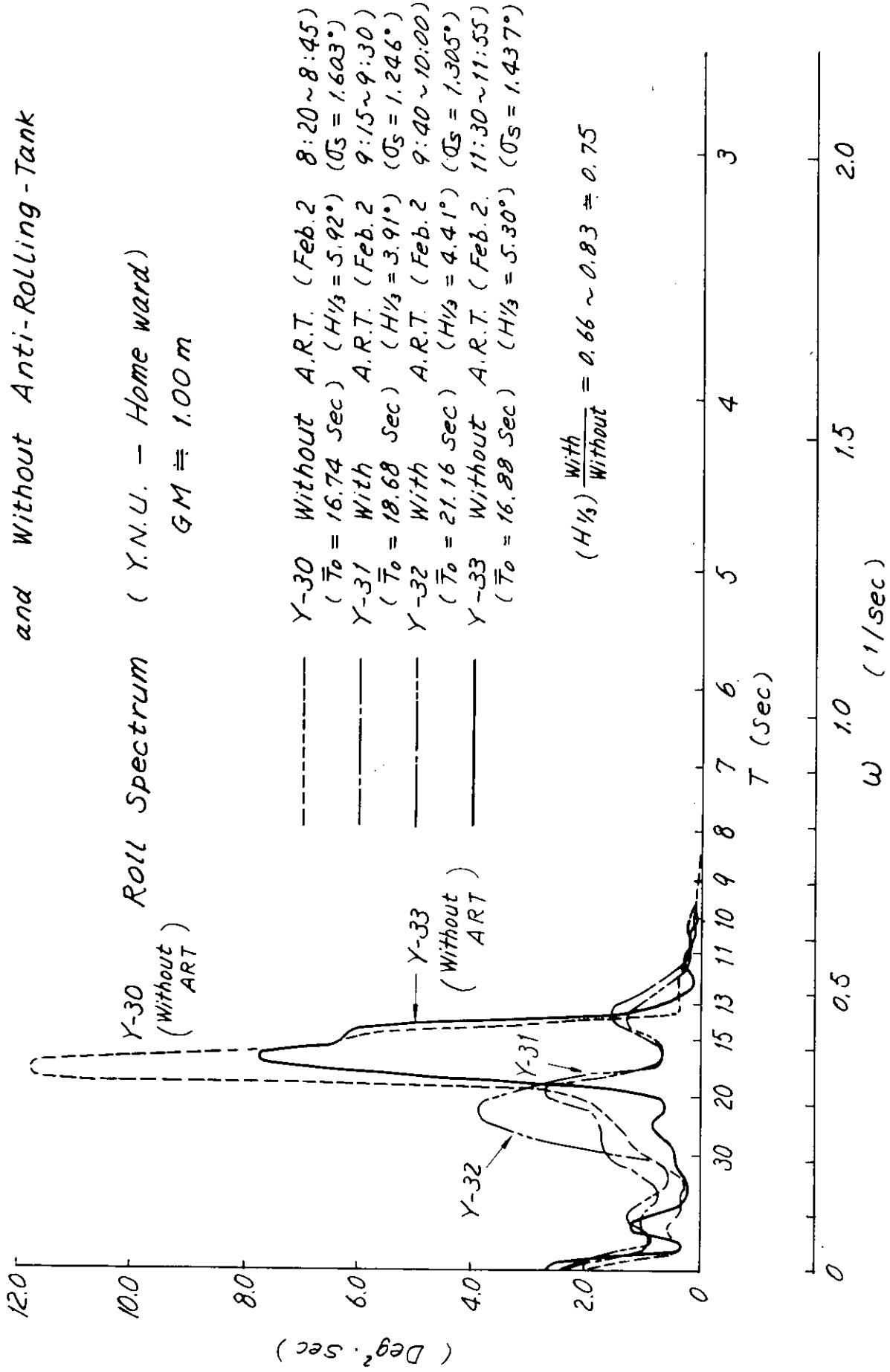


Fig 3.12-2

Spectrum of Lat; Acc. at Wheel House.

Y.N.U. - Outward.

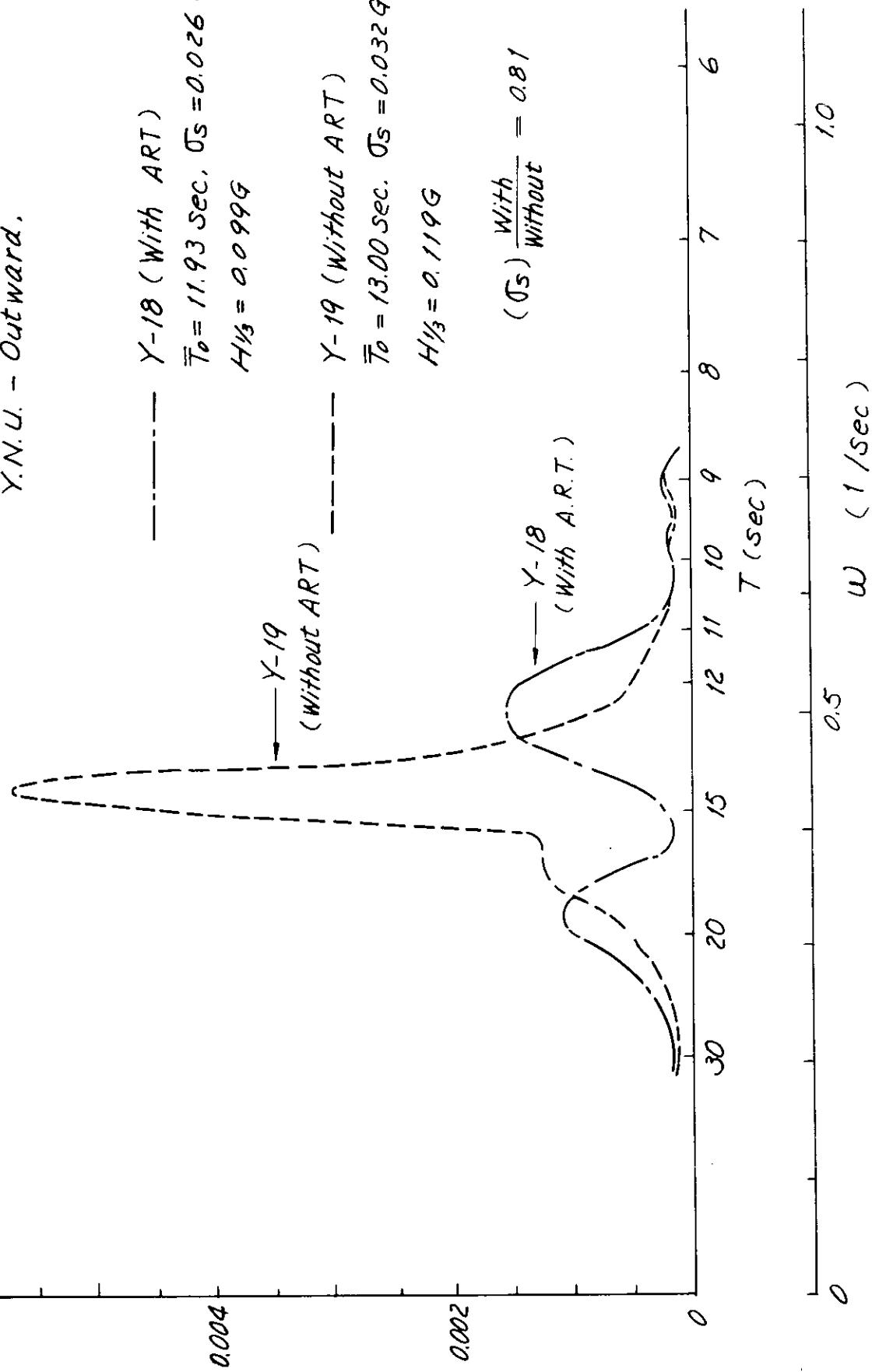
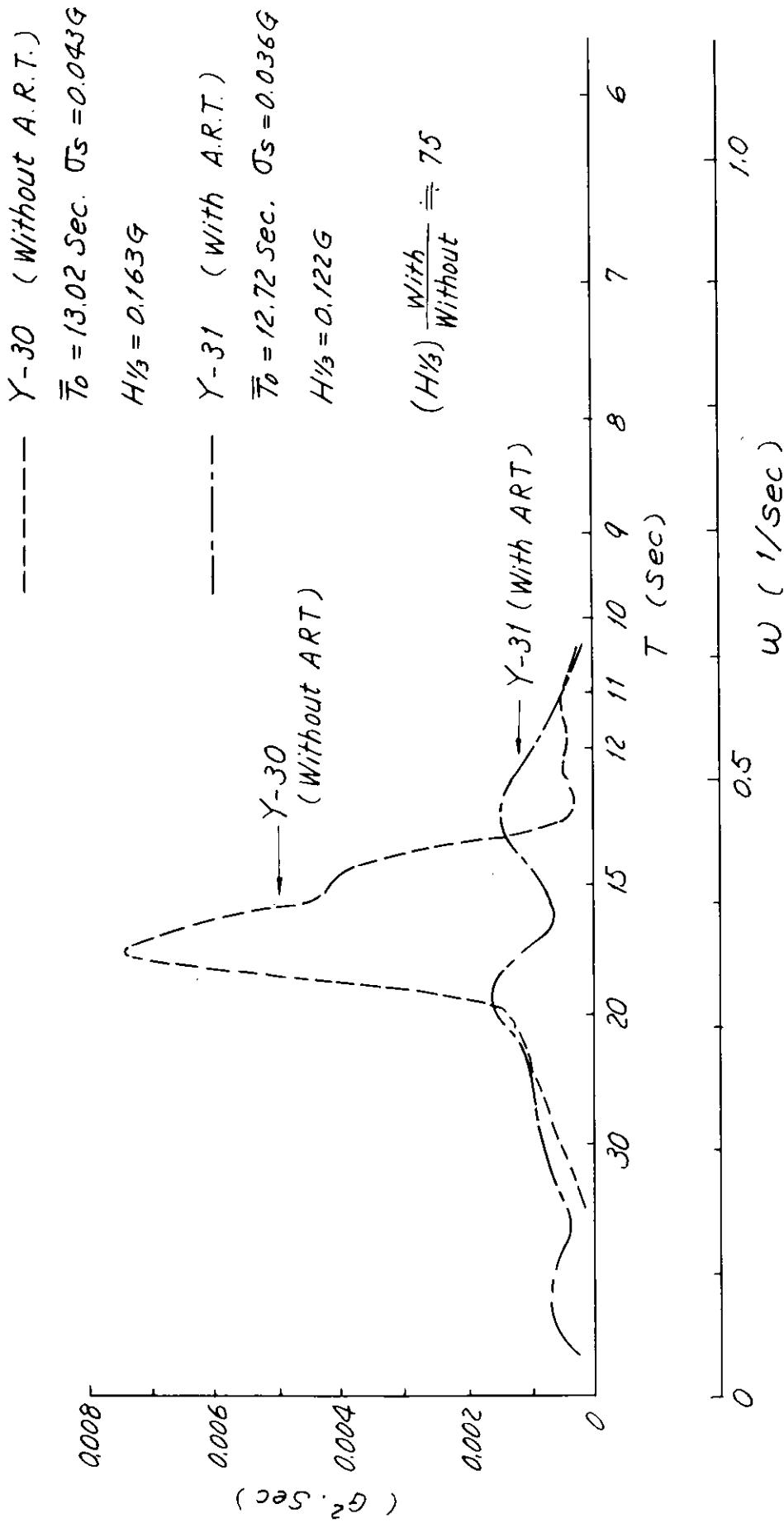


Fig. 3.12-3

Spectrum of Lat. Acc. at Wheel House.

Y.N.U. - Homeward



[日立]
Effect of Anti-Rolling Tank
 Power Spectrum

$H\theta 08$ With A.R.T.
 $H\theta 09$ Without A.R.T.

With

	$H\theta 08$	$H\theta 09$
\sqrt{E}	5.397°	7.818°
1/3 Mean	5.28°	22.14°
1/10 Mean	19.23°	28.14°
Max	26.84°	36.31°
T_θ (Cross)	15.16 s	15.06 s
T_θ (Bet top)	13.38 s	13.77

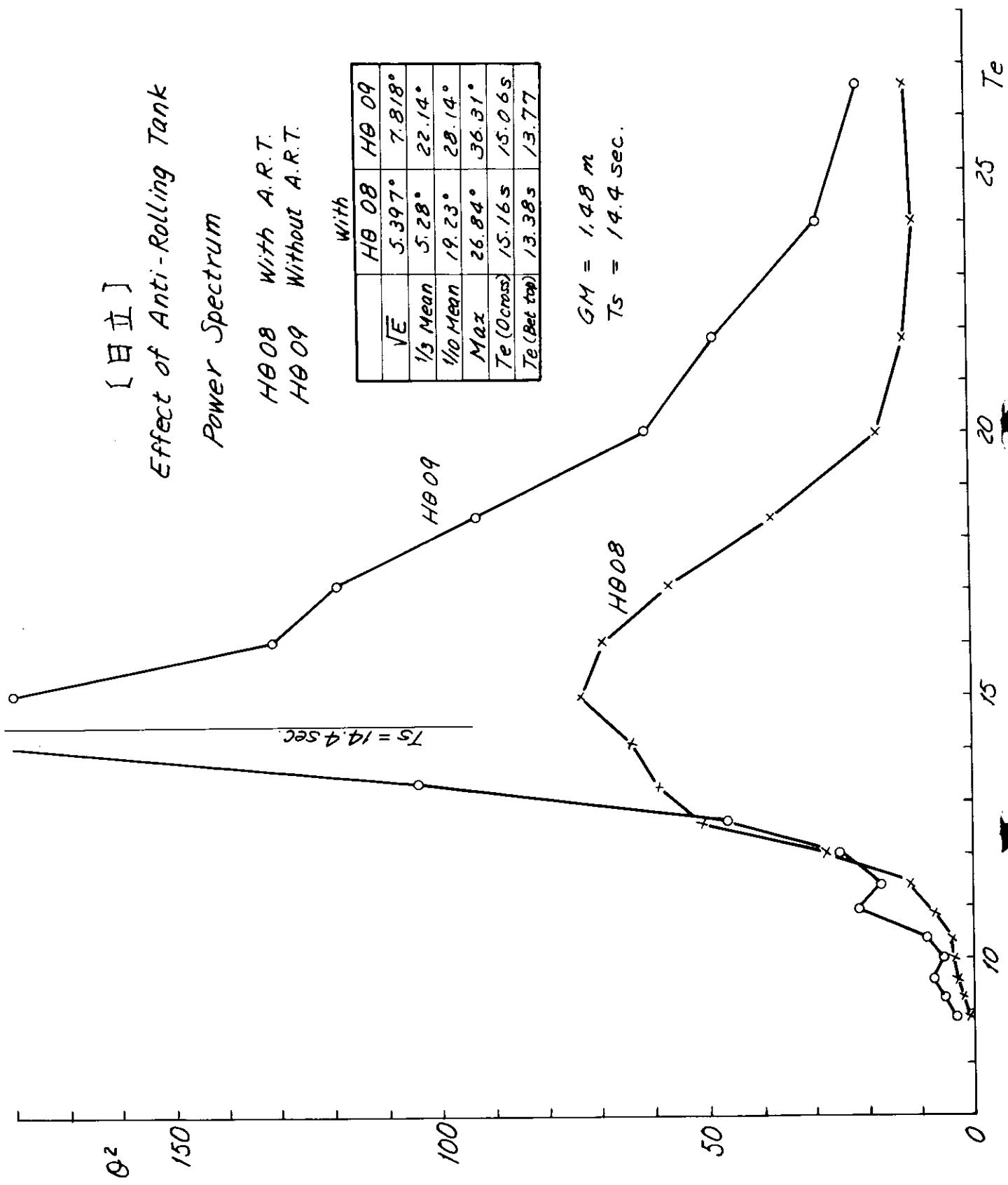


Fig. 3.12-5

[船 研]

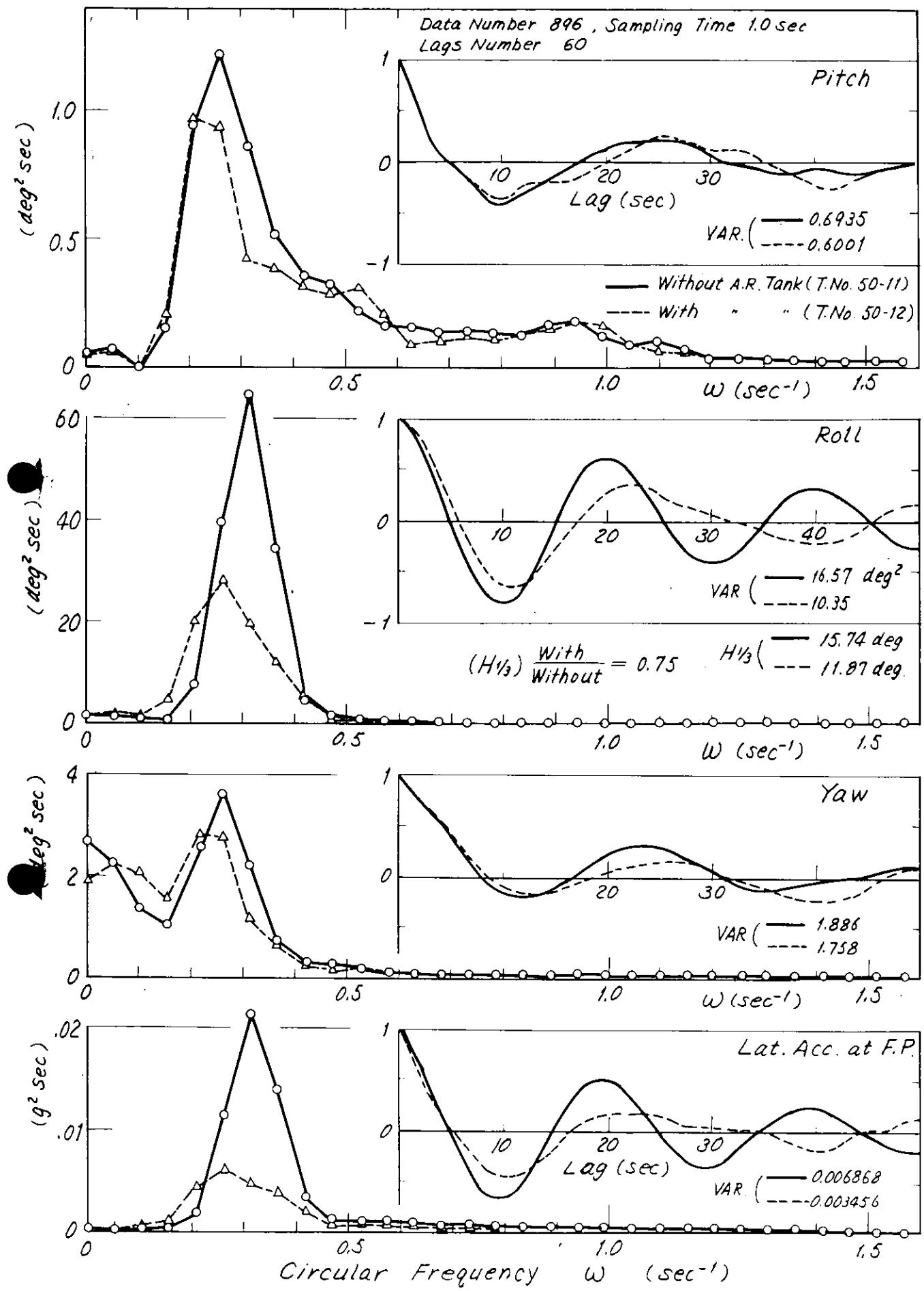


Fig. 3.12-6

[住重]

T. No. 126 - 10 DN = 900 LN = 90 DT = 1.000 sec

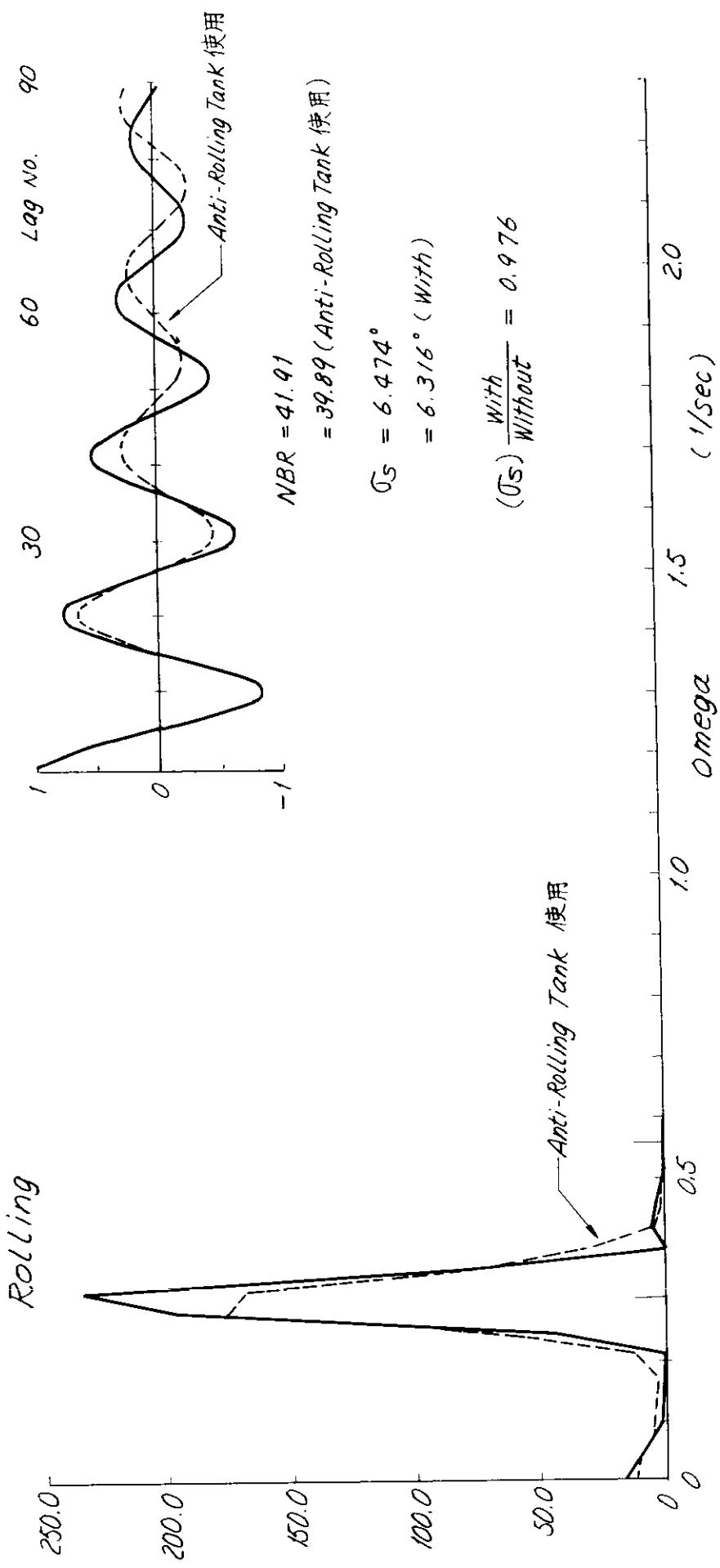


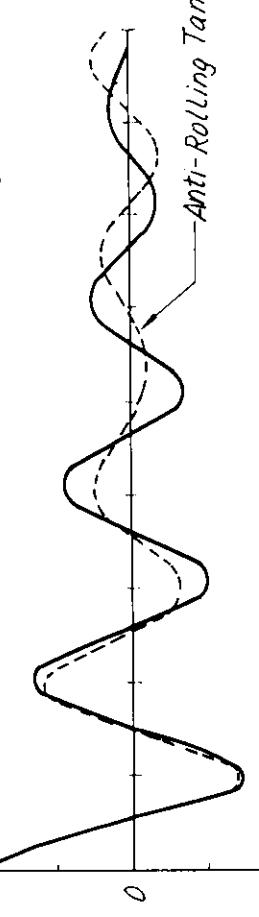
Fig. 3.12-7

[住重]

T. No. 126-10 DN=900 LN=90 DT=1.000 sec

Y Acc. at F.P.

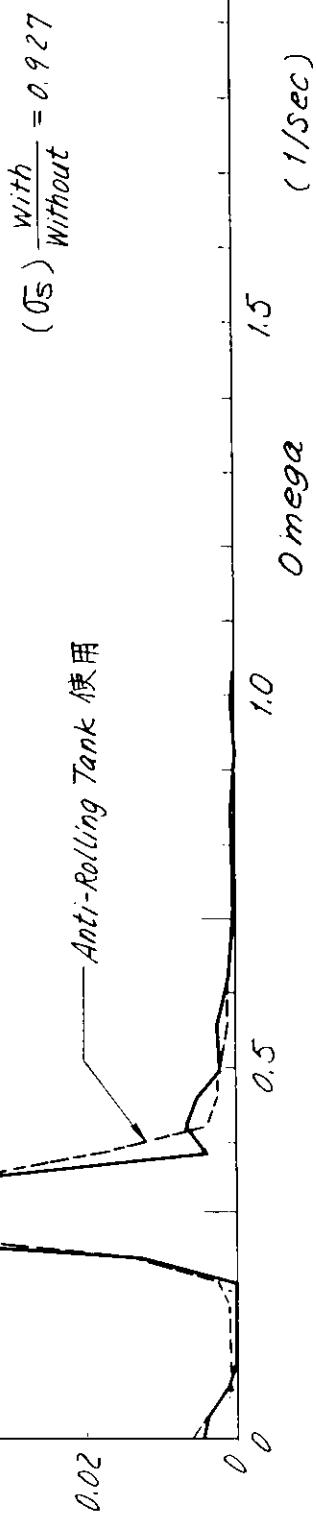
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0



Anti-Rolling Tank 使用

$$NPR = 0.01678 \\ = 0.01444 \text{ (Anti-Rolling Tank 使用)}$$

$$\sigma_s = 0.1296 \\ = 0.1202$$



Anti-Rolling Tank 使用

$$(\sigma_s) \frac{\text{With}}{\text{Without}} = 0.927$$

Fig. 3.12-8

3.13 意識的減速と船体運動

横浜国大 竹沢 誠二

波浪中航行時には波浪による抵抗増加あるいは推進特性の低下によって一定馬力を維持していても船速は低下する。一方、海が荒れると船体運動およびそれから誘発される現象（青波、シャダー、プロペラレーシング、スラミングなど）が激しくなり、それらを軽減させるために意識的にプロペラ回転数を下げ減速を行なう。

特に今回の供試船のように高馬力を高速船では、波浪による船速の低下は小であるので、低船速航行の多くは意識的減速によるものとみなせる。この場合には減速によって、船体運動あるいはそれに基く現象が低減しているものと考えられる。ここではこのような観点に立って、意識的減速によって何が軽減されているのかを調査して見る。何かかが共通して減少しておれば、荒天下の操船はそれを減少させるべく行なわれているのであるから、設計時にその事を考慮することによって耐航性のより一層の改善が期待できる。

Fig. 3.13-1 には目測による波の平均周期と計測時約 20 分間の平均船速の関係を示したが、意識的減速時の船速は約 18 kts 以下と考えるので、平均周期が 10 ~ 13 sec の波を Head Wave として受けた場合の意識的減速が目立つ。もっとも船速 10 kts 以下の場合は波に立てるように操船しているとも考えられるので波との出会い角は重要資料とはなり得ない。なお上記の波周期を有する波は波浪階級表の方法 ($L = 1.56 T^2$) で換算すると波長は 156 m ~ 264 m となる。

Fig. 3.13-2 には目測平均波高と船速との関係について示しておいた。ごく大略の船速低下曲線（馬力一定時の波浪による自然減を示す）を推定して記入すると、意識的減速は波高約 4 m から始まっていると言えよう。ちなみに波高 4 m 以上は波浪の階級では 6 以上である。前述の波周期 10 ~ 13 sec および波高 4 m 以上を満足する“うねり”の階級は 7, 8 である。

Fig. 3.13-3 には風速計による平均風速（相対風向、風速が読み取れるが、これを絶対風向、風速に換算してある）と船速の関係を示した。同様に推定船速低下曲線を記入してあるが、意識的減速は平均風速 25 kts 以上、すなわちビューフォート階級では 6 以上で現われている。本船で問題になる長い波については現時点での風との対応がよくないことが前年度報告で指摘されているので、本図は参考データにしかなるまい。

Fig. 3.13-2, 3 に示されている船速低下曲線は、最適航法などに使用される重要な特性であるが、傾向的には従来の資料と一致している。

Table 3.13-1 には意識的に減速して避航中の船体運動とその前後における減速していない場合の船体運動とを比較して示した。意識的減速をする前に、変針によって船体運動を軽減させることを試みるはずであるが、ここでは減速せざるを得なかった極端な場合を取り上げ比較対照しやすいようにした。この表によると、ピッチおよびロール角は減速中に減少しているとは言えない。むしろ、その時の海況がピッチ角が大になるような場合には減速中はかえってピッチ角が減速前より大なる場合が多い。ロール角についても同じ傾向が見受けられる。すなわち、意識的減速はロール角あるいはピッチ角の減少を直接の目的として実施されているのではないと言えよう。

他に減速前と減速中あるいはその次の增速後にあまり量の変化がない現象があると考えられる。つまり、その現象がそれ以上に大になりそう、あるいは頻度が大になりそうであったから減速し、もう大丈夫であると判断したから船速を旧に復すべく增速すると推察できるからである。

Table 3.13-1 にはピッチ、ロール角以外の他の測定量についてもピック・アップして記入しておいたが、例が少ないので断定はできないが、ある限界値以下に押えるべく操船されている量の一つに船首での上下加速度があげられるようと思われる。

住重鋼管チームの Exp. No. 10 は今回の全試験中、最大のピッチ、ロール角を示した場合のように思われるが、

その実験を含む一連の場合を Table 3.14-1 に例示しておいたが、減速時にロール、ピッチ角はむしろ大きくなっている。これは海が荒れすぎていてロール、ピッチ角の軽減を減速操作によってカバーできなかったとも受けとれるが、船首の上下加速度は減速時に特に増加していないことに注目すると、操船者が無意識のうちに、あるいは他の現象を介して（例えばシャダーの回数を少なくすること）船首の上下加速度をこれ以上にしないように操船しているなる仮説が考えられる。

Table 3.13-1 に示した他のチームの例（船研、石播一三井、日立・府大チーム）についても全く同様な傾向が知れる。この少ない例から定量的な事を言うのは大たん過ぎるかも知れないが、次のような仮説を立てておく。

“本船型の波浪中の操船は船首の上下加速度が全振幅の有義値で約 0.5 g を越えないように行なわれている” 三菱チームの No.5, 6 は全試験中最低の船速まで減速させた例であるが、この場合でもピッチ角は大であるのに、居室での上下加速度は增速後とはほぼ同じ値を示している。

横浜国大チームの例はロール角の小なる場合の例である。ロール角は減速中およびその前後ともほぼ一定であるに反し、ピッチ角は減速中に大きくなっている。すなわち減速しなければ船首の上下加速度は大きくなつたであろうと推察される。ところが船首の上下加速度にはほぼ比例すると思われるホール・ハウス内の前後加速度はほぼ一定値を示している。すなわち、ここでも上下加速度一定の操船がなされている。

なお、船首の上下加速度はピッキングおよびヒーピングの合成運動として出てくる。そしてシャダー、背波、プロペラ・レーシングとも関係の深い量であるから、船首の上下加速度は意識的減速の基準値となり得る現象であることは云うまでもない。

全実験を通じて比較的にロール角が小であったためか、意識的減速と大角度ローリングの関係は今回のデータからは把握しにくい。

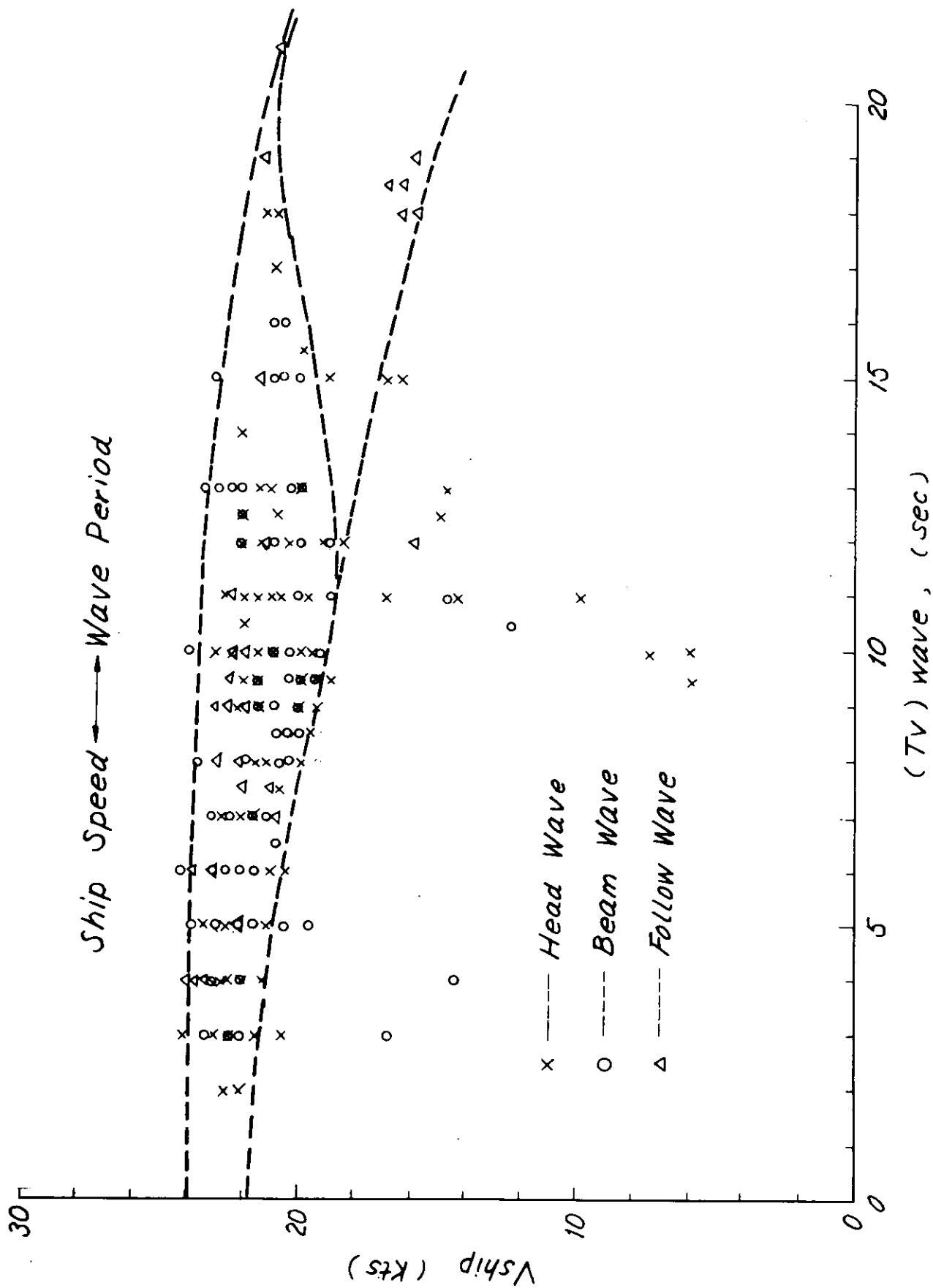


Fig. 3.13-1

Ship Speed → Wave Height

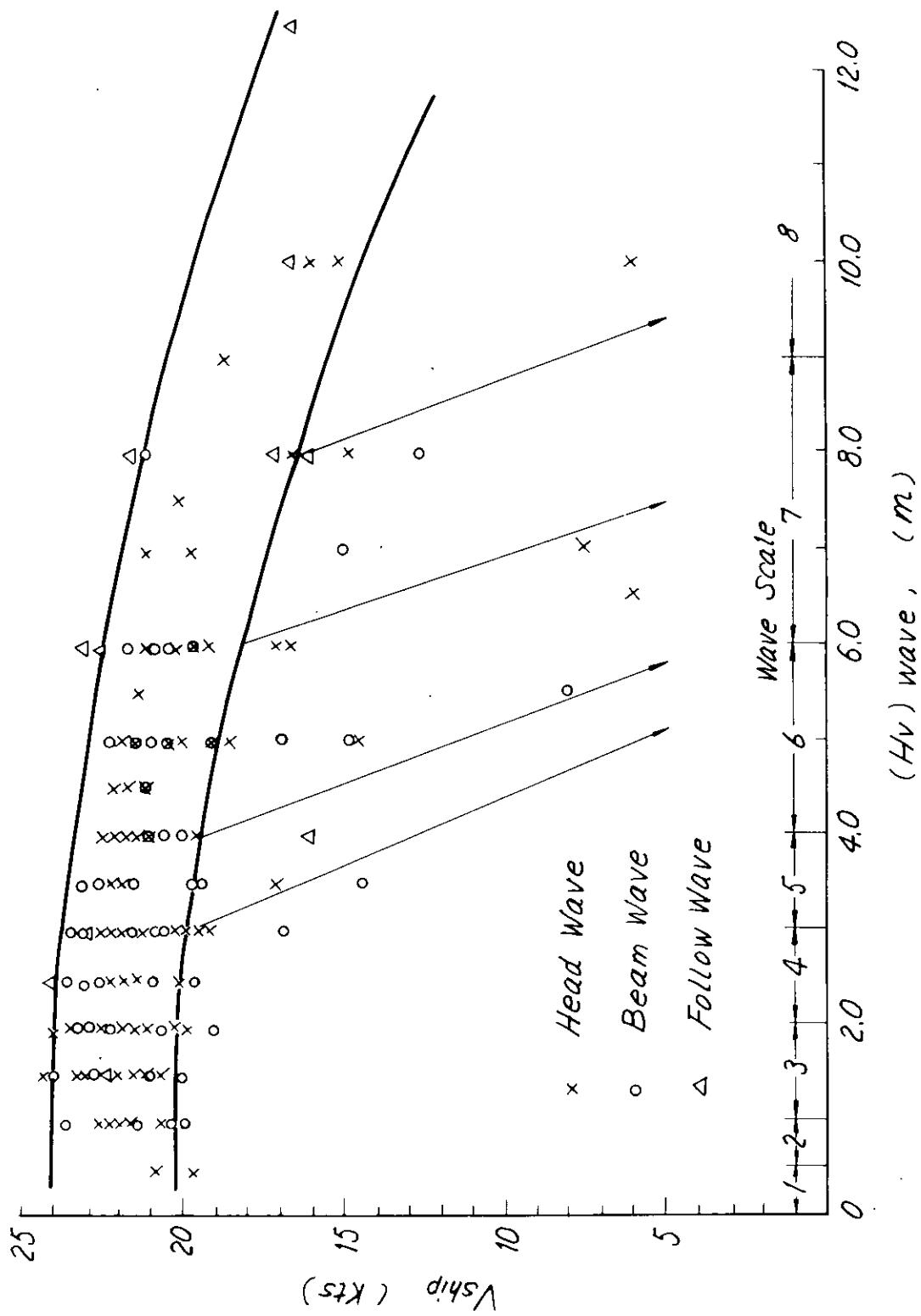


Fig. 3.13-2

Ship Speed → *Wind Velocity*

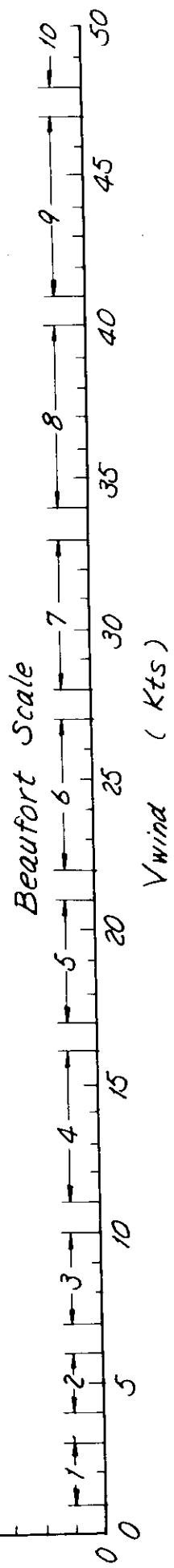
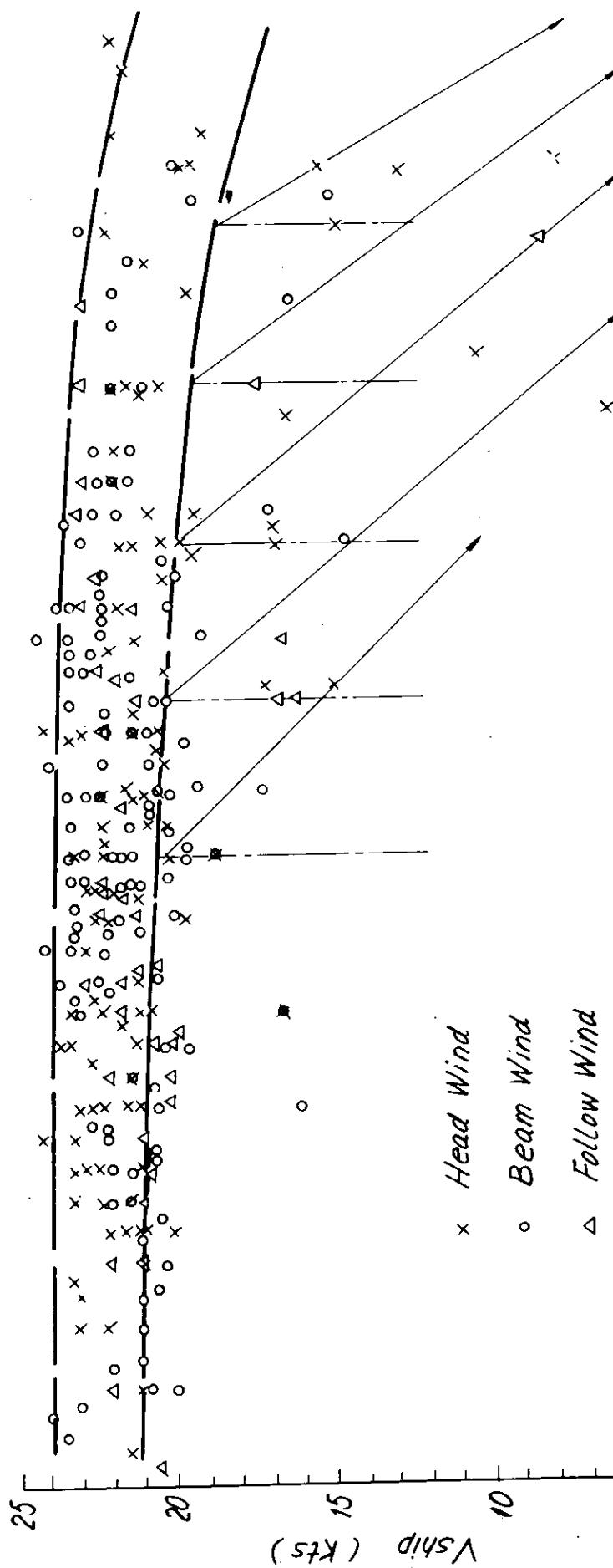


Fig. 3.13-3

Table 3.13-1

住 重	NO. 3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14
Vship (kts)	22.0	22.5	18.0	15.0	21.0	16.5	17.0	17.0	16.5	16.0	21.5
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	2.611	2.052	2.816	5.564	4.671	5.683	10.60	8.382	6.896	5.779	5.958
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	2.006	2.392	6.123	21.73	22.46	24.07	26.36	25.55	18.01	22.46	16.40
V. Acc at F.P. ($H\frac{1}{3}$) g	.3383	.3233	—	.7701	.4878	.2281	.2608	.2263	.1939	.1782	.1698
船 研	NO.30	31	32	33	34	35	36	37			
Vship (kts)	20.0	19.0	12.5	19.5	19.2	19.5	19.5	20.0			
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	3.875	2.058	5.749	3.953	3.823	3.798	2.353	1.856			
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	3.989	3.254	7.389	4.984	7.481	6.277	9.752	6.595			
V. Acc. at Bow ($H\frac{1}{3}$) g	.4882	.5020	.7594	.5353	.5331	.4960	.2922	.2142			
IHI, 三井	NO. 1	2	3	4	5	6	7				
Vship (kts)	16.8	14.3	19.6	22.0	22.1	23.0	23.2				
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	3.549	2.816	2.787	2.073	2.134	2.281	2.242				
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	6.633	11.80	7.257	4.035	4.383	6.338	6.457				
V. Acc. at Bow ($H\frac{1}{3}$) g	.477	.284	.289	.241	.247	.226	.226				
日 立	NO.35	36	37	38	39	40					
Vship (kts)	20.0	20.0	19.0	18.5	16.5	21.0					
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	2.68	3.91	5.76	6.47	4.92	2.09					
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	6.6	4.1	5.7	5.9	3.9	3.9					
V. Acc. at Bow ($H\frac{1}{3}$) g	.407	.538	.683	.708	.643	.259					
三 麦	NO. 4	5	6	7	9	19	20	21	22	23	24
Vship (kts)	12.5	5.0	7.0	21.5	22.0	20.0	15.0	12.0	11.5	19.5	
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	5.503	9.018	6.438	2.654	6.180	4.165	5.325	7.426	5.794	4.096	2.751
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	10.21	7.23	2.699	25.71	19.04	8.102	9.992	9.183	5.482	8.123	3.978
V. Acc. at Room ($H\frac{1}{3}$) g	.2863	.2715	.2596	.1902	.1623	.3028	.2361	.3013	.2240	.2818	.2796
横 大	NO.33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
Vship (kts)	23.0	22.0	20.0	19.0	16.5	17.0	14.75	20.4	20.0	21.0	
Pitch ($H\frac{1}{3}$) deg	1.180	1.207	3.414	3.360	3.864	5.020	5.247	1.996	2.319	3.119	
Roll ($H\frac{1}{3}$) deg	5.301	3.943	3.730	2.954	3.820	3.897	3.214	2.524	2.489	3.527	
Long Acc. at Bow ($H\frac{1}{3}$) g	.073	.198	.187	.213	.242	.270	.126	.150	.204		

3.14 航路およびシーマージン

横浜国大 竹沢誠二

Fig. 3.14-1, 2 は全チームの航路図を合せて記入しておいた。行航では航路の北限は約 42°N , 南限は約 30°N であった。大圈コースでの北限は約 47°N であるから、定説通りに南に下っていることがわかる。復航では 11 月に航行した日立・府大チームを除くと一様にさらに南に下っており、北限が約 35°N , 南限は約 27°N まで下っている。これらの航路を細く見ると単純な距等圏コースを取っている例はなく、冬季には船長がコースの選定に苦心していることがうかがえる。

Table 3.14-1 には計測時における平均風速、目測平均波高、目測平均波周期の最高値を各チームごとに記入しておいた。平均風速の最高値は 46 kts で台風ほどではないが相当な強風が吹いていることがわかる。目測平均波高の最高は 12.5 m となっており、 10.0 m なる数も 2, 3 見られるので、有義値で 10 m なる波高の波は稀有のものではないと言えよう。目測波周期は平均波周期に近いとされているが、 21 sec なる値がある。これは波長を 1.56 T^2 で算出すると約 700 m となる。 15 sec なる値はそれほど珍しくないので約 350 m 程度のうねりがしばしば見られることがわかる。

このような海象下を Fig. 3.14-1, 2 のように航海したわけであるが、その航程係数（航走距離の大圈距離に対する割合）は往航の全平均で 1.05, 復航では 1.10 となっており、復航の方が 5% 長く走っている。つまり復航の方が海が荒れているとも言える。この数値は“横浜 \leftrightarrow サンフランシスコ”間の定期貨物船での調査^{*}によると冬期の往航で 1.02, 復航で 1.10 となっており、今回の場合と類似している。ちなみに同調査によると、冬季の平均航路の北限は往航で約 46°N , 復航で約 33°N となっている。今回の場合は往航で差があるが復航では類似している。

一航海の平均船速の全平均は往航で 21.8 kts , 復航では 20.50 kts となっている。本船の設計航海速力の平均は 22.49 kts であるから、往航で 0.7 kts , 復航で 2.0 kts の減となっている。もちろん、この数値には排水量による修正が入っていないので、目安としての値にすぎない。

積算燃費から一航海平均のシーマージンを算定してみる。設計時における燃費の平均値は 87.67 ton/day である。一方、設計平均船速 22.49 kts で品川 \rightarrow ロス間 ($4,837\text{ S.M.} \times 1.047$) およびオークランド \leftrightarrow 神戸 ($4,817\text{ S.M.} \times 1.099$) を航海すると、航海日数は 9.383 day および 9.808 day となる。すなわち、設計燃費を使用すると積算燃費は 882.6 ton , 859.9 ton となり、これと実績値の比をとると往航では 0.988, 復航では 1.067 となる。この値にも排水量の差による修正が入っていないことに注意せねばならない。同様な算定を前述の調査^{*}の A 型について行なってみると、冬季の往航で 0.965, 復航で 0.932 となり、今回の場合は特に復航での差が大である。シーマージンについては、調査資料 No. 46 に見られるような、より詳細な解析が必要であろう。

なお、波浪中の船速低下曲線はシーマージンの問題と関連が深いが、従来船のデータは研究資料 No. 57-2 (海象と船舶の速度低下との関係に関する統計調査、昭和 42 年 3 月、SR 91-2) に示されているので、本試験の Fig. 3.13-2, 3 と対比すると興味がある。

* シーマージンに関する調査 昭和 41 年 3 月、SR 80-2 (調査資料 No. 46)

PSW Sailing Route

Out-Ward

● 石橋、三井
▲ 横濱大
■ 住友新
○ 川崎重
△ 東
□ 三菱重
× 日立、大
○ 船研
△ 船研
□ 大、府
□ 三菱重
○ 重工
△ 重工
□ 重工

Great Circle Sailing Route 9852 Miles (Yokohama - Los Angeles)

Vancouver

Oakland
Sanfrancisco
Los Angeles

Shinagawa
Kobe

60°N

50°N

40°N

30°N

20°N

10°N

130°E 140°E 150°E 160°E 170°E 180° 170°W 160°W 150°W 140°W 130°W 120°W 110°W

Fig. 3.14-1

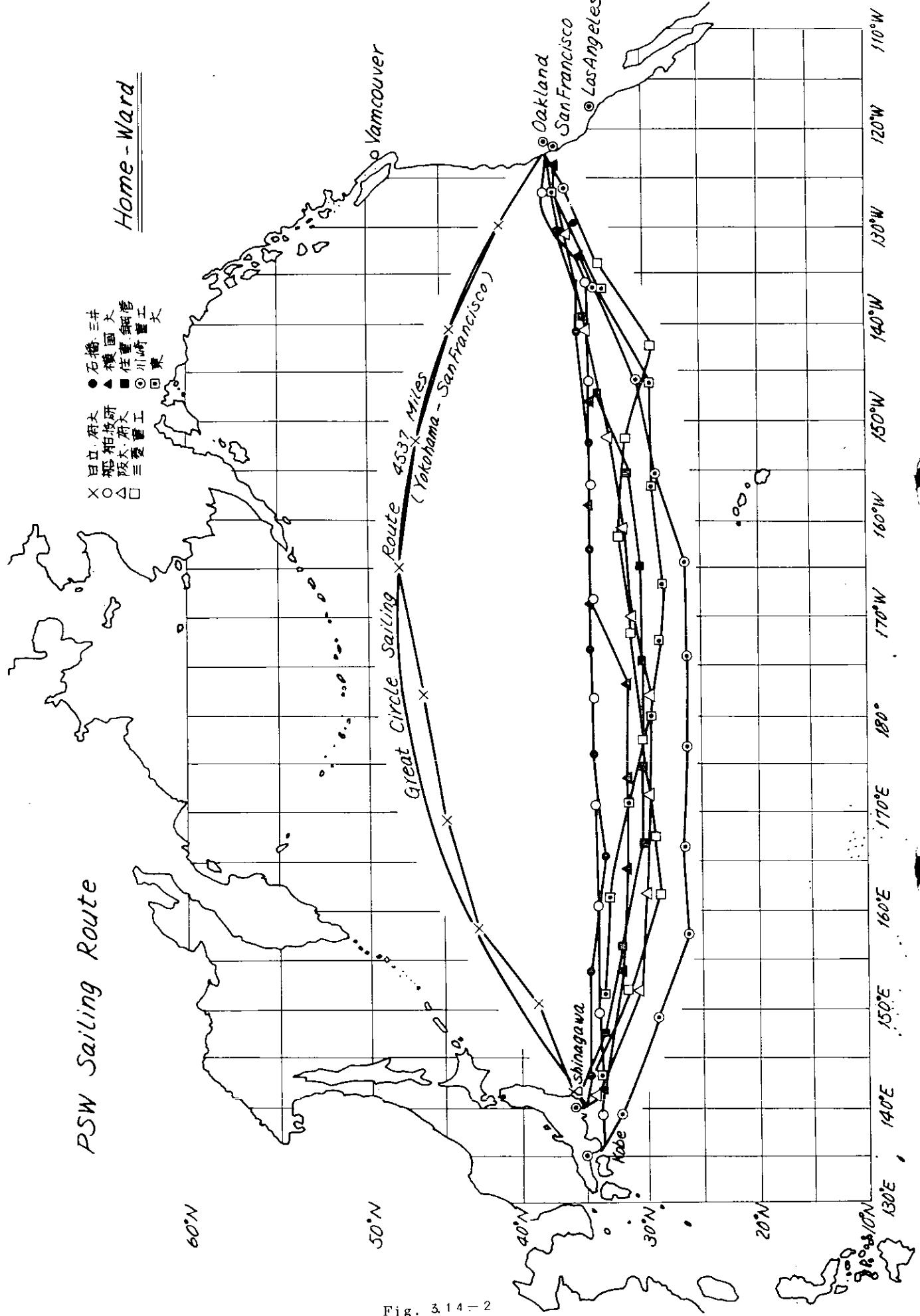


Fig. 314-2

Table 3.14-1 平均船速と最低船速、目測波高など

項目 チ-ム名	一航海の 平均船速 (kts)	計測時の 平均船速の 最低値 (kts)	航 程 係 数	計測時の 平均風速の 最高値 (kts)	計測時の 目測平均 波高の 最高値 (m)	計測時の 目測平均 周期の 最大値 (sec)	主機の 積算 燃費 (ton)
1 日立・府大 (復航)	往航 22.05 (20.40)	21.0 (16.5)	1.022 (1.019)	39.0 (35.0)	6.0 (9.0)	15.0 (15.0)	789 (846)
2 船 研		21.84 (21.02)	8.0 (12.5)	1.028 (1.076)	39.6 (43.8)	6.0 (8.0)	15.0 (12.0)
3 住重・鋼管		20.07 (19.28)	14.8 (14.5)	1.047 (1.117)	— —	12.5 (6.0)	21.0 (17.0)
4 阪大・府大		21.86 (20.46)	21.0 (16.0)	1.026 (1.132)	— —	5.0 (10.0)	— (909)
5 川 重		22.01 (20.50)	21.0 (19.4)	1.029 (1.155)	35.0 (42.0)	5.0 (10.0)	10.0 (16.0)
6 三 菊		20.7 (20.40)	5.0 (9.5)	1.075 —	51.0 (35.0)	9.0 (9.0)	15.0 (15.0)
7 東 大		22.9 (19.9)	22.2 (6.0)	1.082 (1.137)	40.0 (46.0)	6.0 (10.0)	11.0 (11.0)
8 石 播・三井		22.47 (21.69)	14.3 (20.5)	1.080 (1.068)	31.0 (29.0)	3.5 (5.0)	8.0 (8.0)
9 横 大 (復航)	往航 22.45 (20.85)	17.0 (14.8)	1.030 (1.089)	33.0 (35.0)	3.5 (8.0)	15.0 (18.0)	813 (942)
全 平 均		21.82 (20.50)	— (1.099)	1.047 —	— —	— —	812.4 (917.9)

3.15 あとがき

横浜国大 竹沢誠二

以上のように本試験に参加した各チームの乗船者および今年度の数値解析担当者の積極的な努力によって、当初の“実船観測”なるタイトルから大幅にはみ出して本格的な実船試験以上の成果が得られた。

本報告の元になった実測記録は、たとえばピッチ角およびロール角は約400点、延約8.000分の記録であり、しかも同型船の1シーズン、1航路に関するデータであることを考えると、今までにない規模の実船試験記録であると言えよう。この莫大なる実測記録には、ここに示された考察あるいは解析以外に無限の内容を持つとも言える。この意味から生のデータは大切に保存されなければならない。Table 3.2-2と同じ型式の統計数値計算結果をほぼ全実験点、全計測項目にわたって委員会の各位には配布してある、その資料は貴重な参考資料となり得ると思われる所以、今後の積極的な活用を期待したい。

4. 実船試験

4.1 経緯

本年度の実船試験は、実船試験小委員会第一分科会で計画され、討議された。その主たる内容は計測コンテナーの製作と今年度分の実船試験の実施である。

計測コンテナー本体および航海計器のリピーターを利用して計測する項目の計測器は三菱重工神戸造船所がその製作購入を担当し、計測コンテナーに内蔵するその他の計測器すなわち水平ジャイロ式船体運動計測装置および各種の計測器出力を連続記録する船体運動記録装置の計画、購入を横浜国大造船工学科が担当した。またこの計測コンテナーの操作はプリッジから遠隔操作する方式としたが、その装置の計画、購入も横浜国大が担当した。

なお投棄式波高計も購入したが、その担当は東京大学生産技術研究所である。またビデオテープによる船体運動の記録、ビデオカメラによる計測コンテナー内の遠隔監視装置も附属しているが、この担当は横浜国大である。

以上のように各担当項目を初期の段階で分け、年度始めから発註を開始するよう努力したので、各計測装置は、ほぼ計画通りに10月中に完成し、計測コンテナー本体も11月中に完成し、予定通りに本年度実船試験を計測コンテナー方式で実施することができた。

一方、実船試験の計画は、計測コンテナーの製作と平行して進められ、これも予定通りに日本郵船株式会社の高速大型コンテナ船“鎌倉丸”のヨーロッパ向け第1次航（昭和46年12月30日～昭和47年2月24日）で実船試験をすることができた。なお鎌倉丸の第1次航は、PSW航路であったが、この際にも計測コンテナーを積載して、主として計測コンテナーの動作状況をチェックする予備試験を実施した。なお、今年度実施の担当会社は三菱重工である。

計測コンテナー方式の利点は、容易に積み換えが可能であることであることは申しまでもない、この長所を活用して来年度（47年度）には、ニューヨーク航路（石川島播磨重工担当）、およびPSW航路（川崎重工担当）の各一往復航海を、今年度と同様に計測コンテナーを使用して、冬期の荒天時に試験を実施することが予定された。

以下に、鎌倉丸による本実験（ヨーロッパ航路）について報告するが、本年度は計測を行なったのみで、本実験の解析は次年度に行なわれる。なお、計測コンテナーは持ち回りとなり次年度以降各社で使用されることになるので、本報告では計測コンテナーの取り扱い方法について、やや詳細に説明することにする。

4.2 供試船、試験期間および計測員

供試船は日本郵船の欧州航路、大型コンテナ船の第一船である鎌倉丸であり、試験はその欧州向け航海の第一次航で行なわれた。

鎌倉丸の主要目は、下記の通りである。

長さ（垂線間）	L _{pp}	245.00 m
幅	B	32.20 m
深さ	D	24.00 m
吃水（満載）	d	12.00 m
総トン数		51,139 T
載貨重量トン数		35,406 t
主機		タービン、4万馬力×2（8万馬力）
プロペラ		5翼×2 直 径 6.50 m ピッチ 6.90 m

回転数	N.O.R.	130 RPM
	M.C.R.	RPM
速力	航海速力	26.15 Kts
	最高速力	29.62 Kts
コンテナ積載数	1,838 ケ (20 ft型換算)	

なお鎌倉丸は、日本、イギリス、ドイツの主要船会社5社で形成したトリオグループが極東、欧州間のコンテナーサービスのために使用する超高速大型コンテナー船17隻の第1船として就航したものであるが、その第1次航海で実船実験を実施することができたのは、日本郵船株式会社の本試験に対する積極的御協力によるものである。ここに改めて謝意を表しておく。

本実験の実施期間は欧州向け一次航(本船の二次航)の期間であるが、下記の通りである。

東京港	発	昭和46年12月30日	航進時間
パナマ運河	通過	47年1月12日	12日15時間
ハンブルグ	着	1月21日	8日 6.5時間
	発		24日
ロッテルダム	着	1月25日	
	発	28日	
サザンプトン	着	1月29日	
	発	2月1日	7日18.1時間
パナマ運河	通過	2月10日	
東京港	着	2月24日	12日23時間

なお、本船の一次航はP.S.W.航路であったが、この航海では、計測コンテナの試用試験を行なっている。その期間は、

東京港	発	昭和46年11月24日
ロスアンジェルス	着	12月1日
	発	12月6日
東京港	着	12月15日

であった。

計測員として、乗船した者は次の4名である。

竹沢誠二	(横浜国大)
大川豊	(東京大学)
辛島光二	(三菱重工・神戸造船所)
朝長義英	(三菱重工・長崎研究所)

なお、前述のP.S.W.航路における予備試験には、

米田義昭	(三菱重工・神戸研究所)
------	--------------

が乗船した。

本実験時の船の状態をTable 4.2-1に、またコンテナの積載状況をFig 4.2-1に示す。なお往復航ともアンチ・ローリングタンクは使用していない。

航路図をFig 4.2-2とした。点の位置は船内時間の正午における位置を示している。したがって点と点の間は24時間および23時間、25時間の場合がある。図中にOGによる1日の平均船速を記入しておいたが、予定通り

の高速で航海したことがわかる。なお◎印はシケにより意識的に減速した日を示している。

4.3 計測項目および計測時間

計測コンテナーには、7chのデータ・レコーダーを3台設置しておいたが、1台を予備と考え、2台をフルに活用するに止めた。したがって計測項目は14chにおさえられる。本実験での計測項目は下記の通りである。

データー・レコーダー I

- 1 ピッチ角
- 2 ロール角
- 3 ヒープ加速度
- 4 サージ加速度
- 5 スウェー加速度
- 6 ヨー角
- 7 船速(タイム・コード兼用)

データー・レコーダー II

- 1 プロペラ回転数(P O R T)
- 2 " (S T A R B.)
- 3 軸トルク (P O R T)
- 4 " (S T A R B.)
- 5 風 向
- 6 風 速
- 7 純 角(タイム・コード兼用)

なお、投擲式波高計による測定を行なう場合には、上記の1ch.を波高に切り換える方法をとった。

3台目のデーター・レコーダーは記録の再生として使用した。

後述のようにデーター・レコーダーの操作は、完全自動運転が可能であるので、定時計測はログ・ブック記入時刻に合せて、4時，8時，12時，16時，20時，24時の6回とした。なお、上記の時刻に計測が終了するものとし、1回の計測時間は30分とした。データー・レコーダーの操作はオートで行なうので、夜中に起きている必要はない。ただし、船内時刻の変更が夜中の2時に行なわれていたのに対し、計測装置の時刻の変更は20時～24時の間で行なっているので、時刻の変更のあった日の24時の計測は、船内時間に対して、1時間遅れか進みになっている。

なお、荒れた日には臨時計測を行なっているが、この計測は1 hr.以上の長時間とした。

ビデオテープによる船体運動の録画は、12時の定時計測時に10～15分間程度、定期的に実施したが、荒天時の臨時計測時には、1 hr.程度の長時間録画を行なっている。

また、全く平穏な日には定時計測を中止した。Exp.№.(実験番号)と記録テープとの対応を、Table 4.3-1に示したが、総記録時間は約100時間の長さに達している。

4.4 計測装置の設置と配線

計測コンテナー・システムは、計測コンテナー本体とそのリモート・コントローラーに2大別される。今回の実験の場合の設置位置を、Fig. 4.4-1に示した。図示のように計測コンテナー本体はホールド内の最下段に積み込んだので、荷役作業と無関係となり、実験中動かすことなく、したがって配線もつなぎぱなしにすることができた。

この位置は、計測コンテナー設置の基準位置として、次年度以降の実験に対して推奨し得るものである。

リモート・コントローラーおよびビデオ装置は、ジャイロ室に設置したが、できうればホイール・ハウス内の方が好ましい。なお、外界状況録画用のTVカメラはコンパス・ブリッジの中央に設置された。

これらの機器間の配線ケーブルは、できるだけ屋外を通すようにしてある。ケーブルの配線経路は事前によく調査して決定しておかねばならない。本実験の場合、配線用の孔（外径約90mm、内径約80mmのパイプを挿入）を4ヶ所新設した。この状況を Photo 4.4 に示すが、ケーブルを通した後にバテ状のセメントをつめている。

航海計器のリピーターの出力をもらう計測項目は、船内のどこから取り出せばよいかも事前に検討しておく必要がある。本実験の場合の取り出し個所は、Fig 4.4-2 に記入しておいた。

4.5 計測装置

本委員会で計画購入した船体運動用計測コンテナー・システムの総合ブロック線図を、Fig 4.5-1 に示す。なお、Photo 4.5-A に計測コンテナー内の全体の状況を、Photo 4.5-B にジャイロ室内に設置されたリモート・コントローラー関係の全体の状況を示す。

本システムは、Fig 4.5-1 に示されているように、航海計器と同様に航海中動作し続けている多数の計測器の出力を任意の時刻に、任意の時間だけ1～4台のアナログ・データーレコーダーにリモート操作で、自動または手動で記録させることができるように計画されている。

本委員会として購入すみのデーター・レコーダーは2台であるが、4台まで同時に、リモート・コントロール可能である。今回の実験での計測項目は前記の通りであるが、このうち主軸トルクは本船独自の航海計器のリピーターとなっているので、他の船への共用性はない。その他の計測項目は、本委員会で調査対象となるような他船の航海計器を調査し、共用できる方式をとっている。

各計測器については、取扱説明書に詳述されているので、ここには記述の重複をさけ、取扱説明書に書かれていない実際に使用して気がついた注意事項を記すこととする。

4.5.1 計測コンテナー本体

冷凍コンテナー用8'×8'×20'のコンテナーを改装したものである。冷凍機の代りに冷暖房可能な家庭用大型クーラーを設置し、簡易型の空調を行なっている。今回の使用実績によると、外気に比し温度変化の少ないホールド内に積載した関係もあるが、熱帯に近いパナマ運河から、非常に寒いハンブルグまで、ほぼ室温を20°Cに一定に保つことができている。

コンテナー内の儀装は工事期間の関係から臨時のなものとなっている。本実験終了後、本格的な儀装を行なう予定であるが、使用実績から考えて改造容易でかつ振動に強いということから木工事によることになろう。

4.5.2 ジャイロ水平儀（ピッチ角、ロール角）

船体のピッチ角、ロール角を測定すると共に、次に記す3軸加速度計のためのステーブル・プラットホーム（人工水平台）となっている。本装置には特に詳細な取扱い説明書が添附されているので、詳細はそれを参照されたい。

本装置は航海計器と全く同様に長時間、高信頼性を保持して運転可能な大型バーティカル・ジャイロを基本としている。本装置のジャイロのコマは北辰電機製の船用方位ジャイロと同じものを使用している。そのシンバルの変角を精密小型シンクロ発振器で検出し、サーボアンプを介してピッチ、ロール角の広角指示およびボテンショ・メーターによるデーター・レコーダー用出力を得ている。測定範囲は、ピッチ角±3°および±6°、ロール角±18°、±36°の各2レンジとなっている。ジャイロ本体を Photo 4.5-2-a に、ロール、ピッチ角中継発振器を Photo 4.5-2-b に示す。また計測コンテナーのリモート・コントローラーの位置でロール角、ピッチ角を指示する指示器を Photo 4.5-2-c に示す。

本装置は計画通りに航海計器と同様に運転しっぱなしにしたが、全く無故障で動作した。以下に注意事項を列記する。

- (1) 本装置の電源はジャイロ駆動用の電動交流発電機を廻すため、AC 220V, 3Φ, 60Hz である。この電源は冷凍コンテナー用の冷凍機の電源と合わせてあるので、船内では簡単に得られるが、陸上で試運転する場合には、関東地方では簡単に得られない。
- (2) 本装置の横出角の0°は絶対水平面に對して0°にできるようになっている。したがってその必要のある場合は、ジャイロ本体の調節脚によって、調節せねばならない。
- (3) 本装置の起動、停止は取扱説明書に従って慎重に行なわねばならない。運転中に船内電源が停電した場合の処置は厄介であるから、関係乗組員に停電させないよう特に依頼しておく必要がある。
- (4) ピッチ角、ロール角のディジタル表示のための出力は中継発振器の出力接栓に二つのBNC接栓をつけ、データー・レコーダーとタイム・コード・ゼネレーターへ並列に出力を送る。
- (5) 出力電圧の極性は、指示器に示されている符号と一致している。
- (6) ピッチ角が6°以上になり、オーバーレンジとなったことがあったが、6°以上の場合は、波形が折り返される形になるので後から読み取り可能である。

4.5.3 三軸加速度（ヒープ、スウェー、サージ加速度）

ジャイロのコマの上に直接取り付けられた三軸加速度計によって検出されているので、回転運動の影響が完全に取り除かれており、純粋のヒープ加速度、スウェー加速度、サージ加速度を検出している。三軸加速度計は3ヶのストレンゲージ型の線加速度計を組合せたもので、ヒープ用2G、スウェー用1G、サージ用1Gの定格のものを使用している。

この出力を動歪計で増幅してデーター・レコーダーへの入力としているが、動歪計には各チャネルにモニター・メーターが附属していないため、特注のモニター・メーターを追加している。本器の外観をPhoto 4.5-3に示す。本器に関する注意事項を下記に列記する。

- (1) ジャイロのコマは相当な高温になる。したがって三軸加速度計も高温になる。このため安定な作動が懸念されたが、使用実績によるとその心配はないことがわかる。
- (2) ただ検出部が高温であるため、高倍率増幅で使用しているために、ゼロ点のドリフトが若干あるので、時々ゼロ点の再調整が必要である。
- (3) テープの交換のたびに行なう較正記録は、動歪計本体を使用して行ない、ダミー・ブリッジは使用しなかった。この理由はダミー・ブリッジのゼロが安定しないように思われたからである。
- (4) いづれの加速度も外部フィルターをかけないでテープに記録されている。したがってこのテープをそのまま再生すると線の幅の広い不明確な記録が得られる。本格的な解析にあたりA-Dコンバーターにかける際にはフィルターを挿入する必要がある。
- (5) コンテナー積載時には、ショックによる破壊をさけるため三軸加速度計を取り外すように設計されている。なお万一の場合を考え三軸加速度計の予備が一つ附属している。
- (6) 加速度の符号は、ヒープ加速度は上向きが+、スウェー加速度はSTARBOARD方向が+、サージ加速度は船尾方向が+となっている。

4.5.4 ヨー角レピーター（ヨー角、方位角）

本船のジャイロ・コンパスのレピーター信号を、角度に比例する直流電圧信号に変換する装置である。その外観をPhoto 4.5-4に示す。

本器は方位測定用として±170°レンジを有し、一方±18°レンジはヨー角測定用として使用される。これ

らは各々独立のポテンショ・メーターによる出力となっているので2出力を同時に得ることができるが今回の実験では土 18° レンジのみを使用した。なおこのレンジの0点は任意にシフトできるようになっているので便利である。汎用性を持たせるため、35Vステップモーター系レピータ、および70Vステップモーター系レピーターに接続可能となっている。注意事項を下記に列記する。

- (1) 本器はコネクターによる結合になつてない。また出力コネクターも表面に出でていないので注意のこと。
- (2) 出力は、土 18° が土0.9Vになるように調整して使用した。
- (3) レピーターの種類により接続場所が異なることに注意のこと。

4.5.5 舵角レピーター

本船の舵角発信器に接続して、舵角に比例した直流電圧を得る装置であるが、シンクロモーターを使用している場合にだけ接続可能である。

なお本器はシンクロモーターの信号電圧のみを利用しサーボアンプ、サーボモーターにて駆動されているので、舵角発信器のシンクロモーターの容量は小さくてもよい。本器の外観をPhoto 4.5-5に示す。

注意事項はヨー角レピーターと同様である。なお出力電圧は、土 40° を土0.9Vとした。出力電圧+はSTARBOARD、-はPORTとなっている。

本器は、本委員会の調査対象船に対しては汎用性がある。

4.5.6 船速レピーター

本船の電磁ログ(北辰電機製)より船速信号を受け、船の速力変化をデーターレコーダへ記録するもので、船速信号をサーボシンで受信しログ指示計の回転角に等しい角度をポテンショメーターに与え船速に比例する直流電圧を得る機構となっている。

事前調査の結果によると、本委員会の調査対象船はすべて電磁ログを装備しているので、本器は汎用性がある。またサーボシンを使用しているので本船側の指示計に誤差を与えることがない。

測定レンジは、-30%(-9Kt)～+100%(+30Kt)、+50%(15Kt)～+100%(30Kt)の2レンジとなっており、このフルレンジに対して出力電圧は共に、-0.9V～+0.9Vとなっている。()内の数値は鎌倉丸の場合の数値で、例えばフルスケール20Ktの船速計の場合には、-30%(-6Kt)～+100%(+20Kt)、+50%(10Kt)～+100%(20Kt)となる。なおノット目盛は各船に合わせて作製せねばならない。

以下に注意事項を列記する。

- (1) 本船側指示計とのマッチングの関係から、電源スイッチのON～OFFには注意のこと。
- (2) 各測定レンジとも、出力電圧0Vの位置は船速0Ktではない。
- (3) 較正電圧は簡単確実に発生できるようになっているが、電圧レベルは可変であるから、あらかじめ希望の値にセットしておくこと。

4.5.7 プロペラ回転数レピーター

本船装備の主軸回転計用直流発電機の出力を、データーレコーダーにマッチする電圧に変換する装置で、鎌倉丸は2軸であるので、STARBOARD、PORT用の2組用意されている。その外観をPhoto 4.5-7に示す。

船の回転計用直流発電機の出力電圧はJIS規格できめられており、主軸の最高回転数で発電機は1000RPMとなり、そのときの出力電圧は40Vとなっている。鎌倉丸の場合は主軸の回転数目盛が150RPMであるから、その位置で40Vの直流電圧を得ることになる。

測定レンジは、0%(0RPM)～±90%(±135RPM)と、50%(75RPM)～100%(150RPM)の2レンジとなっている。()内は鎌倉丸の場合であるが、船速の場合と同様に他船では、最高目盛

を100%として換算すればよい。

以下に注意事項を列記する。

- (1) 本船側との接続は、極性間違いのないように特に注意のこと。
- (2) レンジ1では出力電圧0Vは0RPMに対応しているが、レンジ2では0Vは75%(112.5RPM)に対応している。
- (3) 船速と同様に較正電圧は簡単に発生できるが、電圧レベルをあらかじめ合わせておくことを忘れないように注意のこと。
- (4) 測定レンジ2で航海中のすべてをカバーできるつもりであったが、今回の実験では、荒天下の意識的減速時に70RPM以下の場合があり、カバーできなかった。

4.5.8 主軸トルクレピータ

鎌倉丸には三菱パルス式船用馬力計が装備されている。本器はその中のトルク成分のパルス信号を受け、このパルス信号をアナログ信号に変換して、データレコーダ用入力電圧を得る装置である。外観をPhoto 4.5-8に示すが、2軸分組み込まれている。本器は他船への汎用性に欠けるが、三菱パルス式馬力計を装備している場合には汎用性がある。

測定レンジは、0~+150%(300TON-M), 75%(150TON-M)~150%(300TON-M)、となっており、各レンジともデーターレコーダー入力±0.9Vを得る。注意事項はプロペラ回転数レピータと同様である。

4.5.9 風向、風速レピータ

本船装備のプロペラ式風向風速計に接続し、発信器の風速、風向の信号を変換してデーター・レコーダー入力用の直流電圧を得る。なおウィンディケーター（風向発信器は直流セルシン）、コーシンペーン（風向発信器は交流セルシン）に接続できるよう汎用性をもたせてある。

測定レンジは相対風速0~60m/sに対して出力直流電圧は0~1V、相対風向0~540°に対して0~-1Vとなっている。外観をPhoto 4.5-9に示す。本器は連絡不充分のうちに製作されたため、次のような改造すべき事項がある。

- (1) 出力電圧を他のリピータと同様に-0.9V~+0.9Vにする。
- (2) 風速の測定レンジを他のリピータと同様に2レンジにする。
- (3) 風向は方位角とヨー角のように2レンジにすることが望ましい。
- (4) 他のリピータと同様な意味での較正回路を附加する。

4.5.10 時刻符号発生器

本器はIRIG-Eフォーマットによる時刻符号を発生すると共に、ディジタル表示式の時計およびディジタル表示のピッチ角、ロール角指示器を兼ねている。外観をPhoto 4.5-10に示す。

時刻符号は複数のデーター・レコーダーの1chに同時記録することにより同時マークとなる。また時刻符号読取器（未購入）に、データー・レコーダーの再生電圧を入れると、時刻（日・時・分・秒）をディジタルで読むことができる。本器の時刻は、222日22時22分22秒のように9桁の表示になっており、それに応する時刻符号（タイム・コード）を発生している。今回の実験では東京港出港時に時計をスタートさせ航海積算時間を表示させている。

ピッチ角およびロール角ディジタル表示部は、±1.999mVフルスケールの直流ディジタル電圧計で、ジャイロ水平儀のそれぞれの測定レンジに対応する常数をかけて、ピッチ角+5.99°、ロール角+17.9°のように3桁表示される。なおピッチ、ロール角表示部はディジタルmV計として使用可能にしてあるので、各計測器の較

正時に大いに利用されたい。本器のディジタル表示部は、ブリッジの船体運動の状況画面の中にスーパーインボーズして写し込まれるように、ITVカメラで撮影されているが、そのためには表示管の明るさが、やや不足気味であった。

表示時刻は、グリニッジ標準時刻としたほうが、後の整理がしやすかったように思われる。時計部分は瞬時の停電でも誤動作するので注意を要する。

4.5.1.1 データ・レコーダー

計測された諸量はすべて本データ・レコーダーにアナログ電圧で記録される。したがって本格的な解析は本器の再生出力をA-D変換器を含むデータ処理装置にかけた後ディジタル電子計算機で行なわれる。本データ・レコーダーは、Philips製のANA-L007(TEAC取扱品)で、1/2吋幅の計測用磁気テープに、7ch+1音声(JRIG規格)の記録を行なうものである。使用テープはカートリッジに収納されているためワンタッチで着脱が可能である。記録速度は30, 15, 3 ¾, 15/16 inch/secの4種であるので時間軸の変換は、1:2:4:8:16:32の割合で可能である。外観をPhoto4.5-11に示す。

今回の実験では長尺テープ(1.080m)を使用し、最低記録速度15/16inch/sec(2.38cm/sec)で記録したので一本のテープで約1.2hr.の記録が可能である。この記録速度でのFM方式記録時の性能は周波数特性DC~31.2Hz, S/N比38dB, 直線性±1%以下、歪率1%以下、ワウ・フラッター0.7%ピーカとなっている。使用上の注意事項を以下に列記する。

- (1) 本器はサーボモーターを使用しているので電源周波数の変動によって性能に影響をうけない。一方電源電圧はAC110V, 125V, 220V, 245Vとなっているが、通常はAC110Vを使用することになるので、電源電圧の低下に特に注意せねばならない。船内電源はAC100Vとなっているが、末端電圧は95V程度となることがある。定格電圧が100Vの計測器(計測コンテナーシステムでは、データーレコーダーを除いてすべて定格電圧はAC100V)では95Vでも故障なく作動するが、110Vの機器では電源電圧が100V以下になると動作が不安定になる。本データ・レコーダーもその例にもれない。対策としてデーターレコーダー電源のみAVRを附し110Vを確保することが考えられる。今回の実験ではスライダックで電圧を上げている。
- (2) 本器の入力レンジは0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5Vの6レンジになっているが、計測コンテナーシステムでは、データ・レコーダーへの入力電圧は±1Vを基準としているので、常用は1Vレンジとなる。しかし計測器からの入力が小さい場合には0.5Vレンジも使用した。
- (3) 本器の入力インピーダンスは1.8kΩ以上となっているが、比較的小であるので、各計測器の較正電圧の記録などを行なう場合には、完全に結線して行なうようとする。
- (4) 各テープの始め、あるいは終りに各チャネルの較正電圧の記録を行なっておく。この記録があれば、記録時と再生時のデータ・レコーダーが変わってもよい。
- (5) 記録の再生は通常15inch/secで行なった。すなわち、1.6倍早く再生したことになる。
- (6) 記録終了後、実験番号とテープカウンター番号の一覧表を作るが、(オートで夜中に記録されているので音声が入っていない)その時、実験の切れ目を知らせる情報はオートで7ch入っているタイムコードのみであるから、ブラウン管オッショロを7chの再生端子に接ないでタイムコードの場所をみつける。
- (7) すべての操作は押し鉗で行なうが、この鉗はいわゆるフェザータッチではない。ゆっくりと充分に押し込む必要がある。
- (8) 各チャネルに附属しているレベルメーターは本実験のような超低周波域のレベルを監視するのには適していない。モニターメーターパネルとして別に製作したメータ一群がそのために役立つ。

- (9) FM記録の場合(本実験はFM記録である)には入力および出力調整ボリュームは使用できない。このことは各チャンネルの音調のみを行なえばよいということで、本器の特色の一つである。
- (10) 音声出力でVUメーターを振らせるように改造してあるので、音声モニタスピーカーのまわりは原型と若干異なっている。

4.5.1.2 リモートコントローラー

本器は4台までのデータ・レコーダー(ANA-L007)の遠隔操作を行なうもので、手動(押し鉗操作)および自動(タイム・スケジュールを決めておくと、その通りにデータ・レコーダーの電源投入、記録開始、記録停止を行なう)操作が可能である。また操作場所はMainとSubの2ヶ所で可能で、計測コンテナ内に設置されているのをMain Control Panel(Photo 4.5-1 2.1)、ジャイロ室内に設置したものをSub Control Panel(Photo 4.5-1 2.2)と称する。

今回の実験では定期計測はAUTO(自動)で行なったので、AUTOの場合について説明する。本器の自動操作関係は極めて“巧妙”にできており、その内容を充分に理解するには時間がかかる。内容の複雑さのため、誤動作あるいは故障が懸念されたが、完全にセットされると全く誤動作なしに作動することを今回の実績が示している。

以下に今回の場合の設定方法を説明する。

- (1) AUTOではSub Control Panel上の次に示すTimerをセットしなければならない。()内は今回の設定値を示す。
- (a) Recording Timer (30分)。記録が開始されると記録時間の経過に従って針が動く。
 - (b) Time Code Recording Timer (3分)。(a)の記録開始の時点から、この時間だけ指定のチャンネル(7ch)に時刻符号発生器よりのタイムコードを記録し、それ以後はそのチャンネルに接続されている現象の記録に自動的に切換わる。このTimerはタイムコードジャンクションパネル(計測コンテナ内)にある。
 - (c) Warm-up Timer (40分)。データレコーダーを記録時には安定した状態とするために、事前にデータレコーダーの電源を投入するタイマーである。この時間は回路上30分以上にとらなければ誤動作をまぬく。なおこのタイマーは1回セットすると動かすことはないので、Sub Control panelに内蔵されている。
 - (d) Recording Start Time (3, 7, 11, 15, 19, 23時)。この名称はData Recorder Start Timeとした方がよい内容を持つ。この設定時刻にデータレコーダーの電源が入るので、12時に記録を終了させたい場合には、記録時間30分、ウォームアップ時間40分であるから10時50分に“入”的爪が動作するようにしておく。ただしこのタイマーのセッティングの精度上5分程度の時刻差は避けられないので、上記のように70分前とするとところを丁度1時間前の11時とした。なお“入”と“切”的爪は常に並べてセットしておき、“切”がなるべく早く働くようにしておかないと誤動作をまぬくような回路になってしまっている。
 - (e) Integrating Timer。データレコーダーの磁気テープを入れ替えた時に0にリセットしておく。各データレコーダーの記録時間のみを積算するタイマーで、指示値が12hr近くになったらテープ交換の用意をする。
- (2) 以上のように各タイマーの設定が終ると、操作場所をSubに切り替え、Auto Manualの切り替え鉗をAutoにする。また操作したいココ(データ・レコーダー)を選択すると、表示ランプの上半分が点燈する。Recording Start Timeでセットした時刻になると、Dモード電源が供給されると共にDモード表示ランプの上下両方が点燈する。セットしたウォーム・アップ時間が終ると、自動的に磁気テープへの記録を開始すると共

共に、Sub Control Panel 上の Record のランプが点燈し、Recording Timer の針が動き始まる。この時同時に Time Code ランプが点燈し、指定チャンネルにタイムコードの記録を開始したことを知らせる。3 分経つと Time Code ランプは消え現象の記録に代ったことを知らせる。記録時間が 30 分経過すると、DR の電源が切れ、DR 表示ランプは上半分のみの点灯となり、Recording Timer の針は自動復帰する。

以上の自動操作中に Manual に切換えると、次に Auto・動作に戻すのにやや厄介な操作が必要であるので、Auto・動作が全く停止している時刻に Manual に切り換えるようとする。

- (3) 今回の実験では常時使用の DR は 2 台であるから、DR-1, DR-2 を使用した。DR-4 にモニターメーター用 ITV カメラを接続し、データーレコーダーと連動して電源の ON-OFF を行なって、撮像管の無駄な消耗を避けた。

Manual 操作時でも Time Code Recording Timer は生きている。また Recording Timer を使用することもできる。なお音声は Sub および Main Control Panel から全部のデータ・レコーダーおよび後述のビデオ・テープコーダーへ同時に録音することができる。

4.5.1.3 監視および観測用テレビ装置

テレビ装置は前述のリモート・コントローラーに運動させて計測コンテナ内の状況を遠方から監視しようとすると、船の航走状況を観測しビデオテープに録画しておこうとする部分に大別される。

監視用テレビは、計測コンテナ内にあるデータ・レコーダの同時再生出力を示すモニターメータ一群を ITV カメラで撮し、その画像をリモートコントローラー位置にあるモニター ITV に出すようになっている。TV の画面内に多数のメータを入れてその動きを判別できるようにするために、メーターの形状、配列および照明に苦労したが、予想外に明確な画像を得ている。外観を Photo 4.5-1.3.1 に示す。

船体運動観測用テレビはコンパスブリッジに設置した屋外用 ITV カメラが撮す航行状況と、前述の時刻符号発生器のパネル面（時刻、ロール角、ピッチ角のディジタル表示）を撮す計測コンテナ内の ITV カメラの画を合成させ、その画をビデオテープレコーダーに必要に応じて録画しようとするものである。屋外用カメラは、ズーム、絞り、焦点調節およびワイパーがリモコンできるようになっている。画面の合成はいろいろな方法で行ない得る装置になっているが、今回の実験では主として、主画面の中にディジタル表示を白抜きで出す方法を使用した。本装置も無事故であったが、屋外カメラのケースには錆が目立つ。屋外カメラの撮像管にシミが出たようである。このようなことから屋外カメラは 1 年毎にオーバーホールの必要があるようと思われる。本装置の外観を Photo 4.5-1.3.2 に示す。ビデオ・テープコーダーは統一型の標準品であるので、本器で録画したテープの再生は他メーカー製の統一型のビデオテープコーダで行なえる。

4.5.1.4 投棄式波高計

本器は船上より投棄式波高ゾンデを海面へ投下し、その発信電波を受信し波高のタイムヒストリーを得ようとするもので、受信機、受信アンテナおよび波高ゾンデよりなる。今回の実験では波高ゾンデを 10 ケ用意した。外観を Photo 4.5-1.4 に示す。

波高ゾンデの投入時に、受信機の同調をとる必要があるため、受信機はリモートコントローラの位置に設置されている。波高の測定レンジは ±2.5 m, ±5 m, ±7.5 m の 3 レンジであるが、いずれの出力も ±1 V の直流電圧となっている。この出力ケーブルは計測コンテナ内のデータレコーダーまで伸びている。

本年度の実験では試みに 2 ケの波高ゾンデを投入したが、受信機が不調のため残念ながら実験を中止し、残りの波高ゾンデは持ち帰り、次年度の実験に回わすこととした。なお本波高計は青雲丸による予備実験では完全に動作していることを附記しておく。以下に注意事項を列記する。

- (1) 受信アンテナの設置位置は、本船の無線送信アンテナから離れていることが望ましい。また投入時には本船の無線送信を中止してもらう。
- (2) 本器の使用電波は 27 MHz 帯であるが、鎌倉丸の場合、同一バンドのハンディトーキーを使用していたので注意を要する。
- (3) 波高ゾンデの送信状況に対応するダミー送信器を用意しておくと、アンテナ位置の決定、受信機の調整に役立つものと思われる。
- (4) 波高ゾンデの投入は予想よりも容易であったが、大シケの時には危険で問題がある。

4.5.1.5 その他の計測器

本委員会としては購入していないが、計測コンテナシステムを使用するにあたり、調整および較正用の汎用計測器が必要である。今年度の実験に際し用意した機器は次の通りである。

- 小型直記式電磁オシログラフ（再生記録用）
- 基準電圧発生器（較正電圧用および調整用）
- デジタル・テスター（調整用）
- 小型プラウン管オシログラフ（調整、モニター用）

4.6 計測経過および感想

計測コンテナシステムは実験期間約2ヶ月の長期にわたり、ほとんど無事故であった。この間の気温は 0 °～ 30 ° の広範囲に変化しているので本システムは耐久性、安定性に対する苛酷なテストに合格し、実用性が確認されたといえよう。

計測装置が完全に動作したので、前述のように多量の記録を集録できた。これらのデータの本格的な解析は 47 年度に実施される予定であるので、ここでは計測の経過および感想を記すに止める。なお海象、気象などの外界状況および船の状態などは前年度の実船観測で用意した計測用紙に記録した。

航路図 (Fig. 4.2-2) に記入しておいたが、一日平均船速 (0.9) 2.5 Kt 以上をほぼ全航海にわたって確保できている。一日平均船速の最高値は 2.7.8 Kt で最低値は 1.9.4 Kt となっているが、最低値を示した日は大時化のため意識的減速を行なった日である。本船の常用馬力は 3,600 PS × 2 (満載状態では 2.6.1.5 Kt, 1.30 RPM となる) であるが出力をここまで上げて航海している日は少ない。これは他国船の性能の関係から本航路の標準船速が約 2.5 Kt と決まり、それによってスケジュールが組まれているからである。このようしたことから、本船の運航法はスケジュールと海象をにらみ合わせ、適当にその日の回転数 (機関出力に対応) を設定する方法をとっている。したがって機関出力は日によつて相当大きく異なるので、平均船速と海象を直接結びつけて考えてはならない。

往路の大西洋はほぼ平穏な海象であり、解析価値のある記録がとれた日は大西洋航海日数 12 日のうち 4 日程度である。往路の大西洋は中程度の船体運動を示したが、大洋航海日数 7 日のうち 4 日程度有意義なデータとなっている。復航の大西洋は、3 日間稀れにみる荒天下を航行したので非常に貴重なデータが得られた。復航の大西洋は南よりのコースをとったので、中途までは平穏な海象であり、後半、2 つの弱い前線を横切ったが中程度の船体運動を示した。

Fig. 4.6-1～2 に復航の大西洋における大時化の時の記録の一例を示す。Exp. No. 9.9 は最もシケている時の計測であるが、大幅な意識的減速 (常用回転数は約 1.30 rpm であるが、この時は約 9.0 rpm) を行なっている。図中に記入しておいたが、ほぼ正面に向い波で波高はうねりと風浪をプラスすると 1.2 m にもなるような大波高であった。“波がしらが長くのしかかるような非常に高い大波。大きなかたまりとなった泡は激しい白いすじを引いて風下に吹き流される。海面は全体として白く見える。波のくずれ方は、はげしく衝撃的になる。視程はそこなわれる” 以上

がピューフォート風力階級表の風力10、全強風(whole gale)、風速48～55Ktsの場合の記述であるが、実感としてはこの表現にピッタリの海象であった。ちなみに、この時の本船側の記録は風力階級12、稀れにみる大時化となっている。

この時の船体運動の状況をPhoto 4.6に示したが、厳しい航行状況であったことが理解いただけよう。写真に写っている本船の船首マストの高さは波よけ壁の頂部から約17mある。平水面からは約36mである。このマストをスケールにして、シブキおよび船体運動の大きさを換算すると興味深い。この実験はビデオテープに長時間録画を行なっているがカメラの位置まで大量のシブキがきて、画面が一時真白になることがあった。本船は船首甲板が一段下っているので船首甲板への青波の被波状況を見ることができないが、船首が波の中に潜り波をすくい上げるようなことは無かったようである。しかし何分にも青波に相当する程のシブキを上げるので、それが甲板上へ落下し相当の水量になったようである。この時化によって波よけ壁より前の船首甲板上の儀装品に若干の損傷があった。また波よけ壁直後のスチール・ハッチカバーが相当凹んだ。

記録(Fig 4.6-1)を見ると、向い波であるからロール角は小であるが、ピッチ角は全振幅で約10°にも達しており、異常に大であることが示されている。一方ヒープ加速度も全振幅で0.8gにもなっている。これは船体上有る点の上下加速度でなくて純粹のヒープ加速度であることを考えると異常に大であると言えよう。またサージ加速度が明白に記録されていることが目立つ。加速度記録に重なって現われている高周波の現象はいわゆるシャダーである。Exp. No. 99ではこのシャダー現象は連続的に発生している。シャダーの周期は約1Hzであることがわかる。本船のシャダーはブリッジの前後および左右揺れを伴なうが、身体には左右揺れの方を強く感じた。

このような大波浪によると回転数は全幅で15RPM程度、主軸トルクは全幅で100T·n-M程度、船速は全幅で3Kts程度も変化していることが分る。なお本船は60RPM以上では定回転制御を行なっていない。

Fig 4.6-2のExp. No. 106はその翌日の記録であるが、前日に比し海象がややおさまっているので、船速を常用速度まで上げている。穏やかになったと言っても相当な大波浪であり、かつ船速が大であるので船首のスプレーの状況、シャダーの発生状況はExp. No. 99と同程度であった。ピッチ角、ヒープ加速度はExp. No. 99の約1/2に減じ、回転数、トルク、船速の変化もExp. No. 99に比し小になっている。

Exp. No. 99、106は共に臨時計測点であるので、60分以上の長時間にわたる記録を得ている。これらの記録の本格的な解析結果に期待したいが、今回の実験ではピッチ角、ロール角などの船体運動と、船速、回転数、トルクなどの推進性能関係の諸要素との相関関係についての解析が可能であるので、その点に興味がもたれる。

SRII2部会の依頼事項として“船体振動と振動感覚”に関する調査および測定を行なったが、本船はターピン船であるので振動が少なく、有意義なデータが得られていないように思われる。また居住区内での騒音も小であるので、本船の平水時での乗心地は極めて良い方に属すると思われる。一方船体運動は前述の例に示されているように、それ相当の海象になると今までの船と同程度になりうる。すなわち本船は大型船ではあるが、大船であるから揺れないという程の大船ではないわけである。

本船の航海速力は従来船に類をみない程高い。高速になったために目立つ現象としては、PSW航路のコンテナ船と同様にシャダー発生の容易さを上げることができよう。本船はPSW航路船よりもより高速であることと、より大型であるので波長の小なる波に対しては、より揺れが小であることから、小波の中を突き進んでゆく傾向がより強くなっている。このような時、こんな波でと思われるような波でもシャダー現象が起る。すなわち船体全体はあまり揺れないので、波が高速で船体に当る状態になり易い。このような場合には船底に波浪衝撃を受けるのではなく、船首船側に受ける場合が多い。このことから、ブリッジが左右に揺れるシャダーが容易に発生するようである。

今回の実験では、純粹の船体運動のみを計測している。ピッチ角、ロール角などの純粹な船体運動を1次船体運動、

例えば船首上下加速度のように1次船体運動の合成によって生ずるものを2次船体運動、さらに波浪衝撃圧、甲板上への被波のように1次船体運動の合成のみからは、出てこない現象を3次船体運動と名付ける。これらの船体運動と荒天航法との関連について考えてみる。

1次船体運動すなわちピッチ角、ロール角などの大小は荒天航法の指針とはなり得ない。これが大であってもシャター、背波もなく、荷くづれもなければ減速、変針はしないであろうから。

例えばあるホールド内の上下加速度がマイナス1g²を越えたとすると、現在のコンテナーはホールド内では積み重ねているだけであるから、コンテナーが飛び上る可能性がでてきて危険である。このようなことから2次船体運動は荒天航法の指針となり得る。そして2次船体運動は船体上の位置の関数があるので、船速の影響を知ることができ便利である。

さて3次船体運動は前述のように1次船体運動が既知であっても、算出可能な現象ではない。そしてこの現象と船体構造強度との関係こそは、実用航法の限界を与えるものである。そして1次船体運動と2次あるいは3次船体運動の関連の実態がわかれば、カンあるいは具体的な現象のみに頼っている荒天航法と理論的な考え方との対応がつき易くなる。

このように考えてくると、船体運動と荒天下航法との関係をより明確に把握するためには、2次船体運動あるいは3次船体運動の計測が必要であると言えよう。

今年度では時間的余裕がなかったので割愛されているが、次年度以降には船首部での3軸加速度あるいは甲板上への被波の圧、量、波浪衝撃圧などの計測を追加する必要を痛感した。

Table 4.2-1

S. S. "KAMAKURA MARU" SHIP'S CONDITIONS

PORT	OUT VOYAGE		HOME VOYAGE		TOKYO
	TOKYO	PANAMA	HAMBURG	SOUTHAMPTON	
dt (m)	10.85	10.03	10.31	10.46	9.90
da (m)	11.04	10.67	10.29	10.30	10.00
dm (m)	10.94	10.35	10.30	10.38	9.90
TRIM (m)	0.19	0.64	-0.02	-0.16	0.10
Δ (t)	50,818	46,287	46,078	46,960	43,559
KG (m)	12.91	13.30	14.86	12.77	
KM (m)	14.84	14.85	13.40	14.85	
GGo (m)	0.38	0.22	0.07	0.05	
G.M (m)	1.55	1.33	1.39	2.03	
F.O. (t)	9,090	5,179	2,375	8,768	5,994
Fr.W. (t)	226	261	505	344	252
Dr.W. (t)	155	137	125	155	142
W.B. (t)	1,181	608	2,940	903	487
CONT. (t)	16,928	16,928	16,928	13,498	13,498

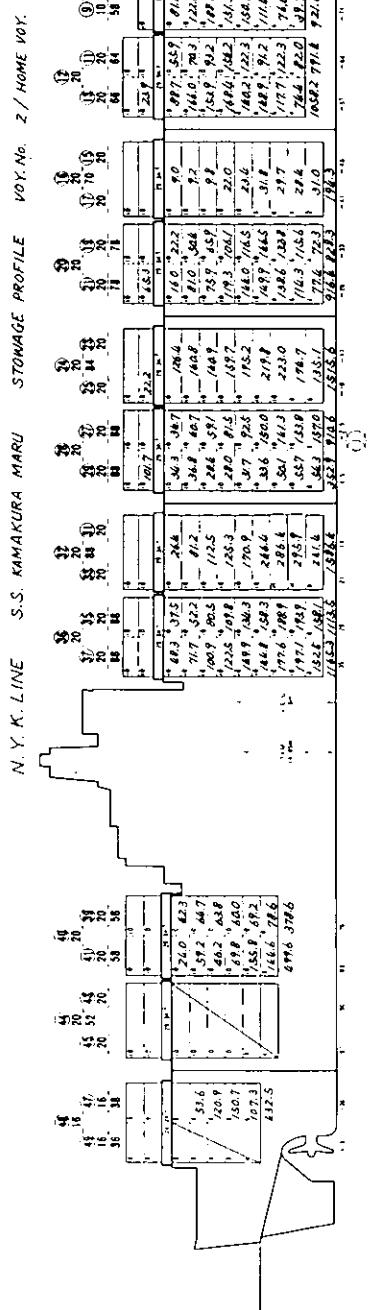
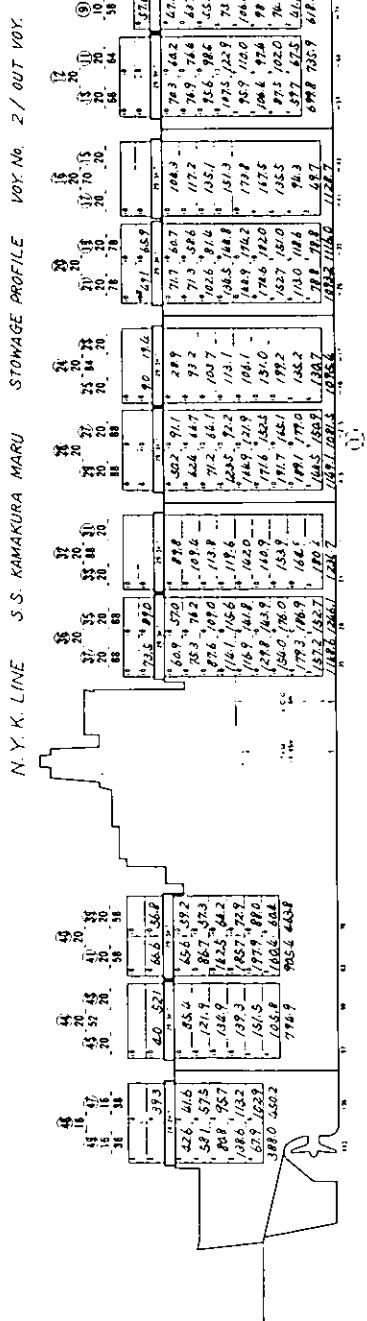


Fig. 4.2-1

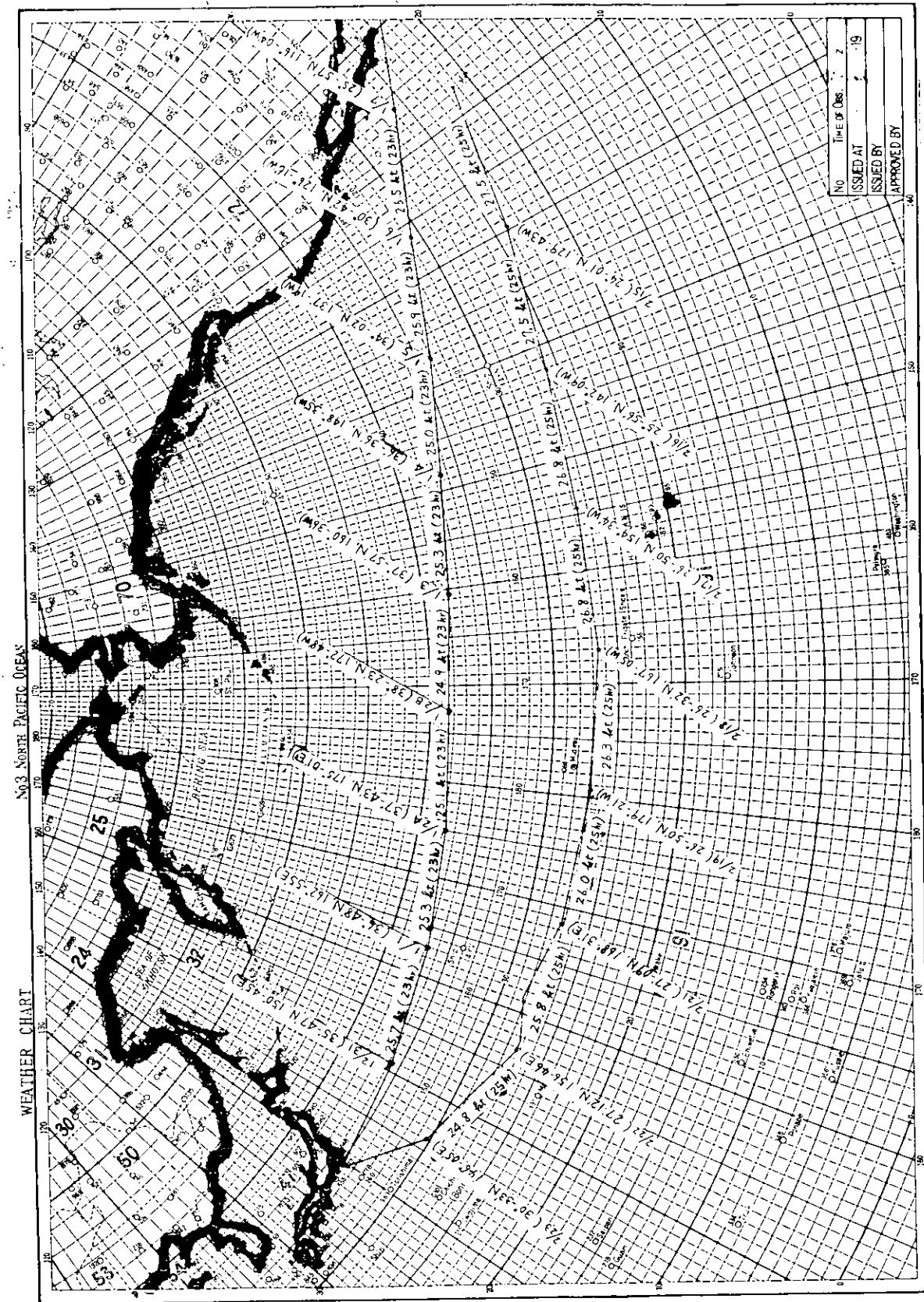


Fig. 4.2-2 a

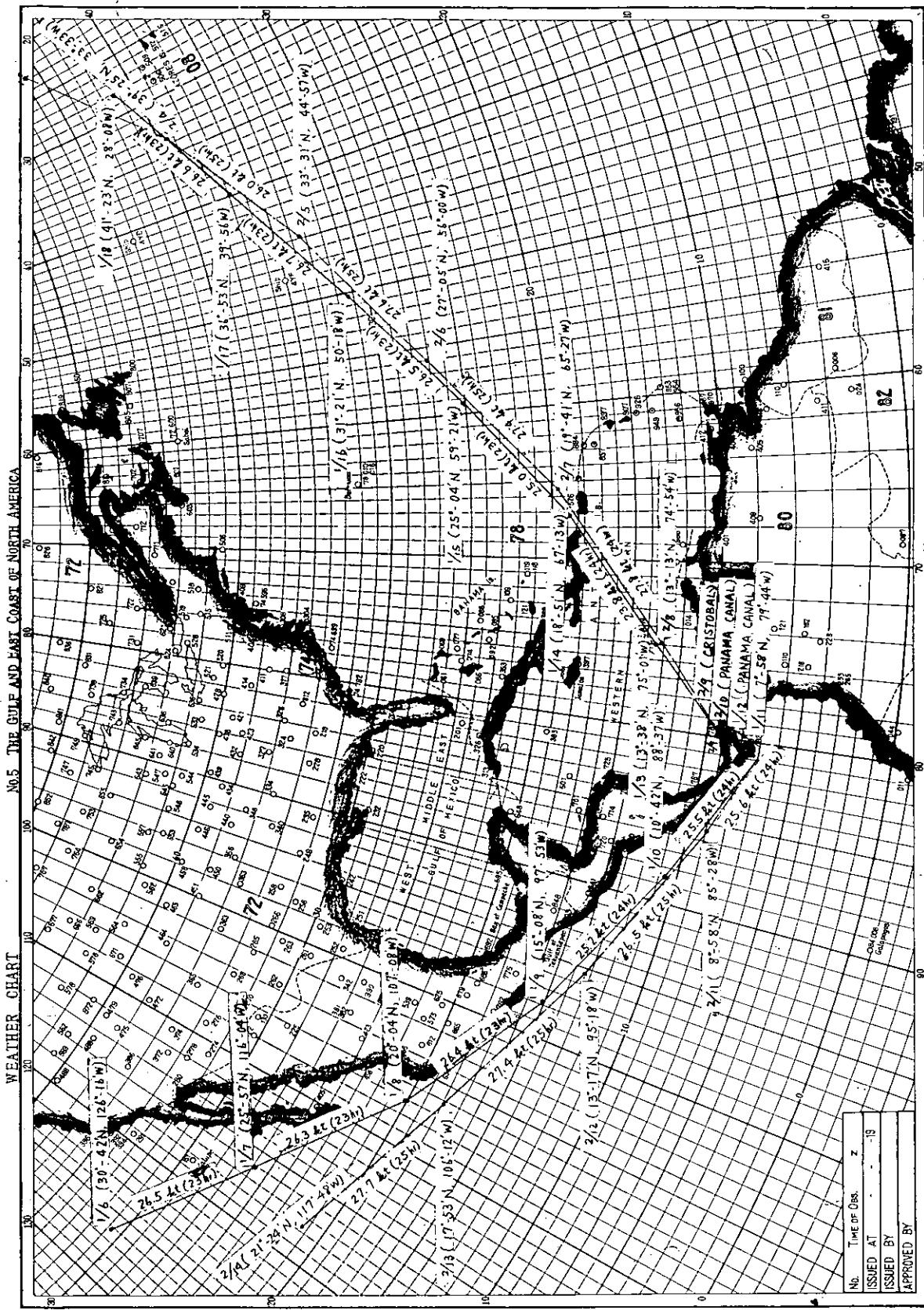


Fig. 5.

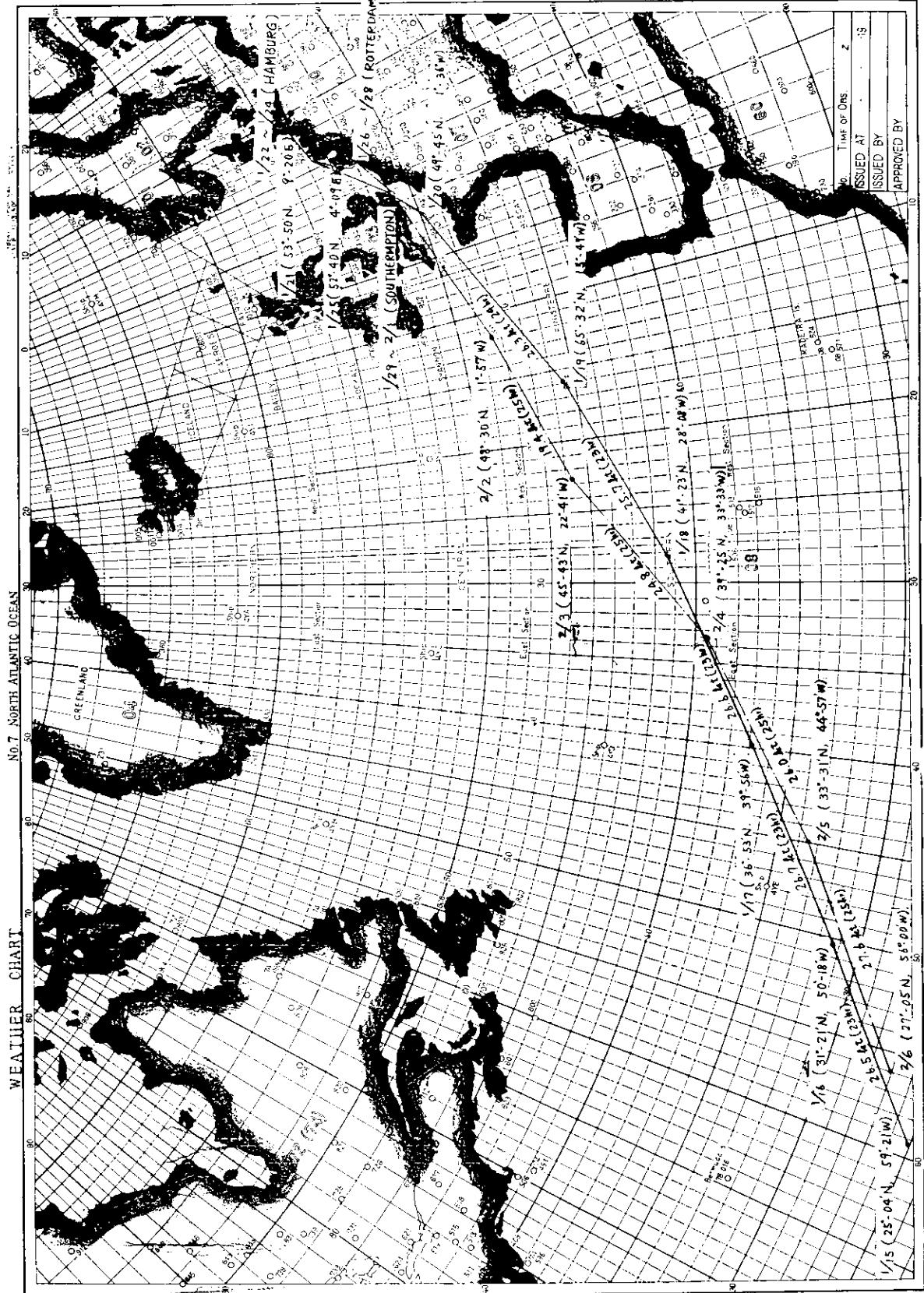
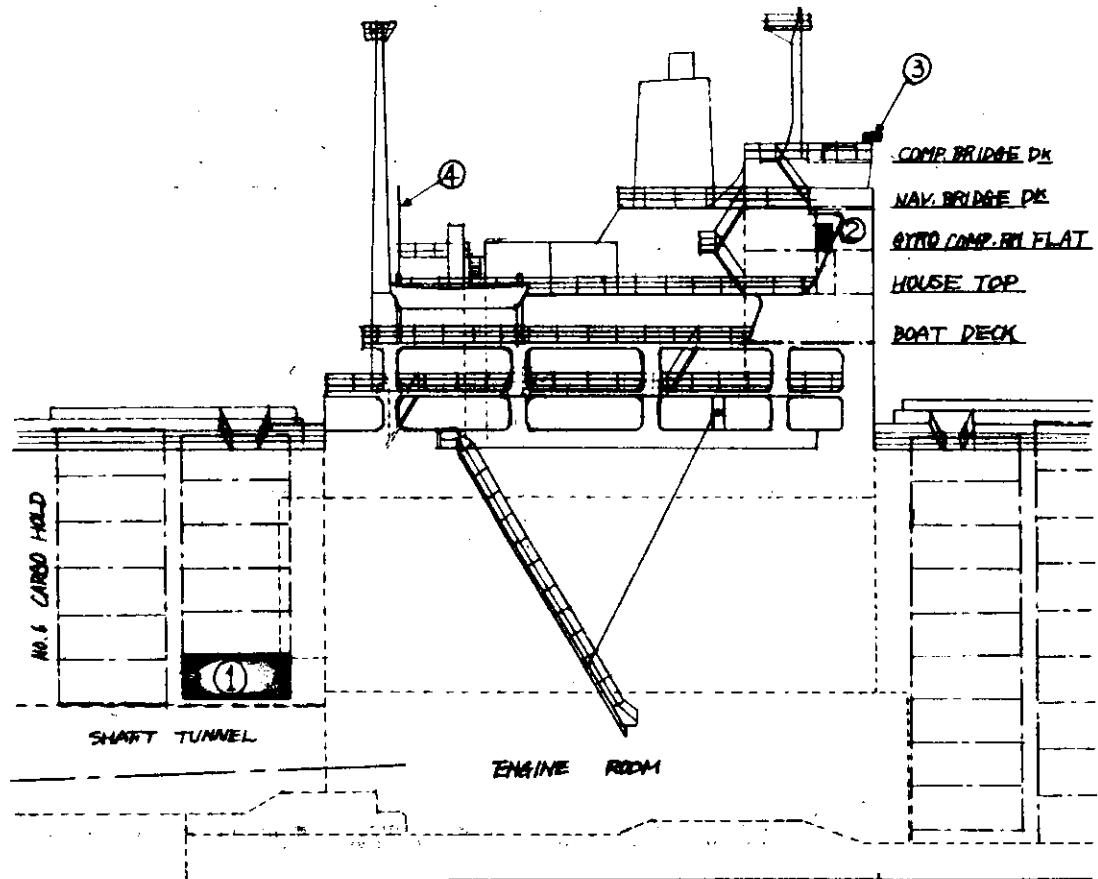


FIG. 4.2-2c

Table 4.3-1

RECORDING OF DATA RECORDER		S.S. "KAMAKURA MARU"		
TAPE NO.	Exp. NO.	DATE	TIME CODE	RECORDING TIME
I - 1 (II - 1)	1 5 23	年月日時 46.12.30.20 S 47.1.2.12	日時 0.08 S 3.21	Hr. 11.5
I - 2 (II - 2)	24 S 46	1.2.16 S 1.6.08	4.01 S 7.13	11.5
I - 3 (II - 3)	47 S 70	1.13.12 S 1.17.08	14.14 S 18.06	11.5
I - 4 (II - 4)	71 S 94	1.17.12 S 1.21.08	18.10 S 22.04	11.5
I - 5 (II - 5)	95 S 106	2.1.20 S 2.3.12	33.17 S 35.10	12.0
I - 6 (II - 6)	107 S 126	2.3.16 S 2.6.20	35.14 S 38.21	11.5
I - 7 (II - 7)	127 S 148	2.7.12 S 2.17.20	39.14 S 50.03	11.0
I - 8 (II - 8)	149 S 170	2.18.01 S 2.22.12	50.08 S 53.23	12.0
I - 9 (II - 9)	171 S 178	2.22.16 S 2.23.20	54.03 S 55.08	8.0



- ① 計測コンテナ
(NO.6 CARGO HOLD)
中央右側
- ② リエ+コントロール盤
(GYRO COMP. RM)
- ③ 屋外TVカメラ
(船体中心線上)
- ④ 波高計受信アンテナ

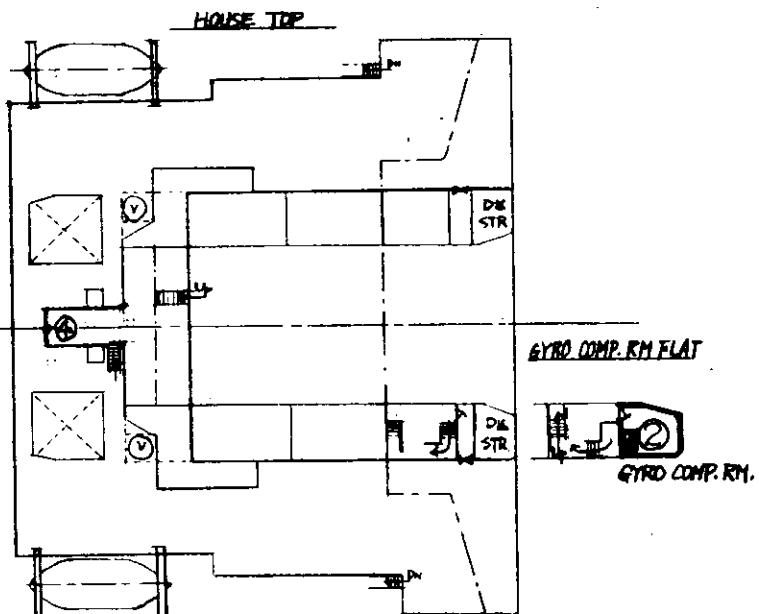
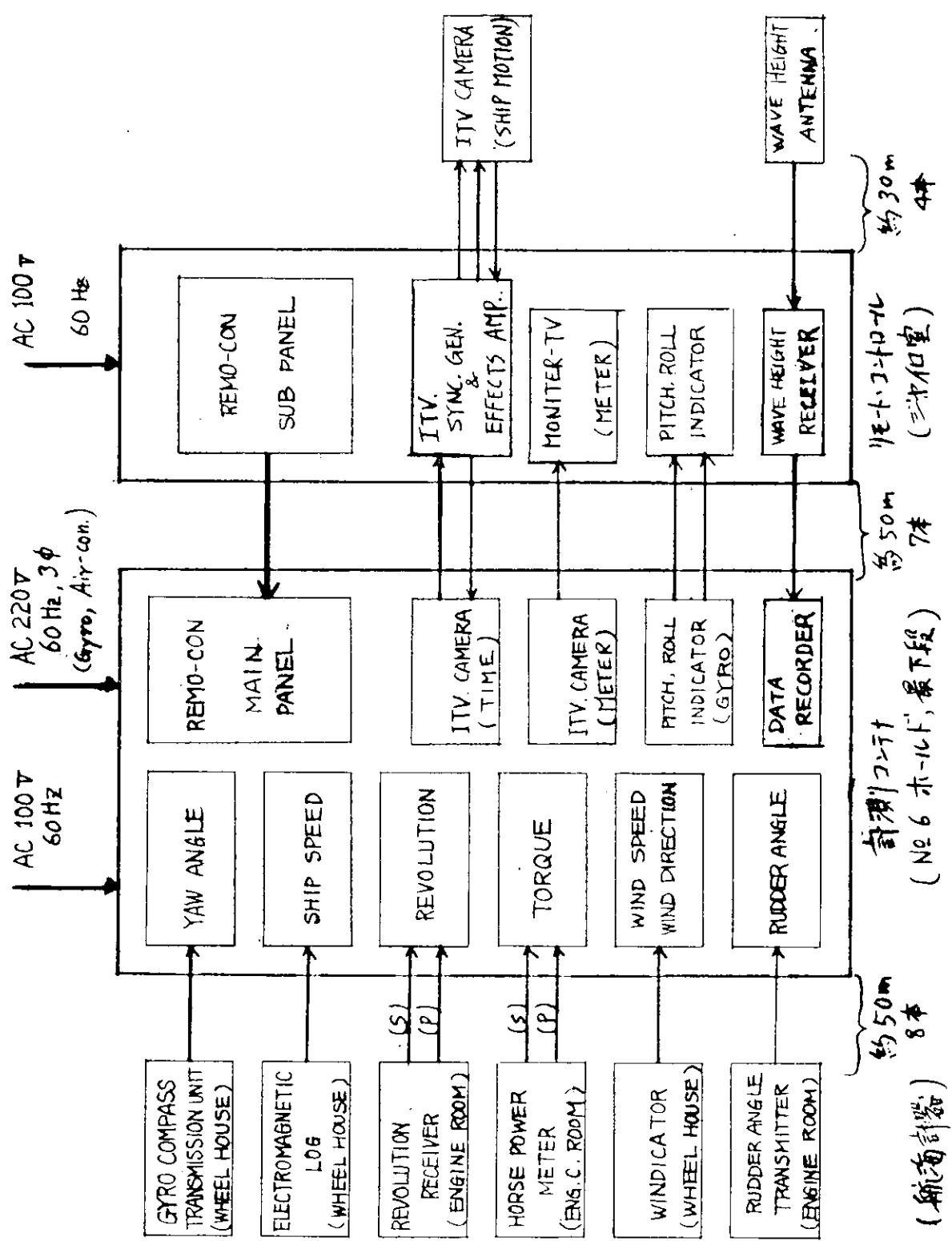
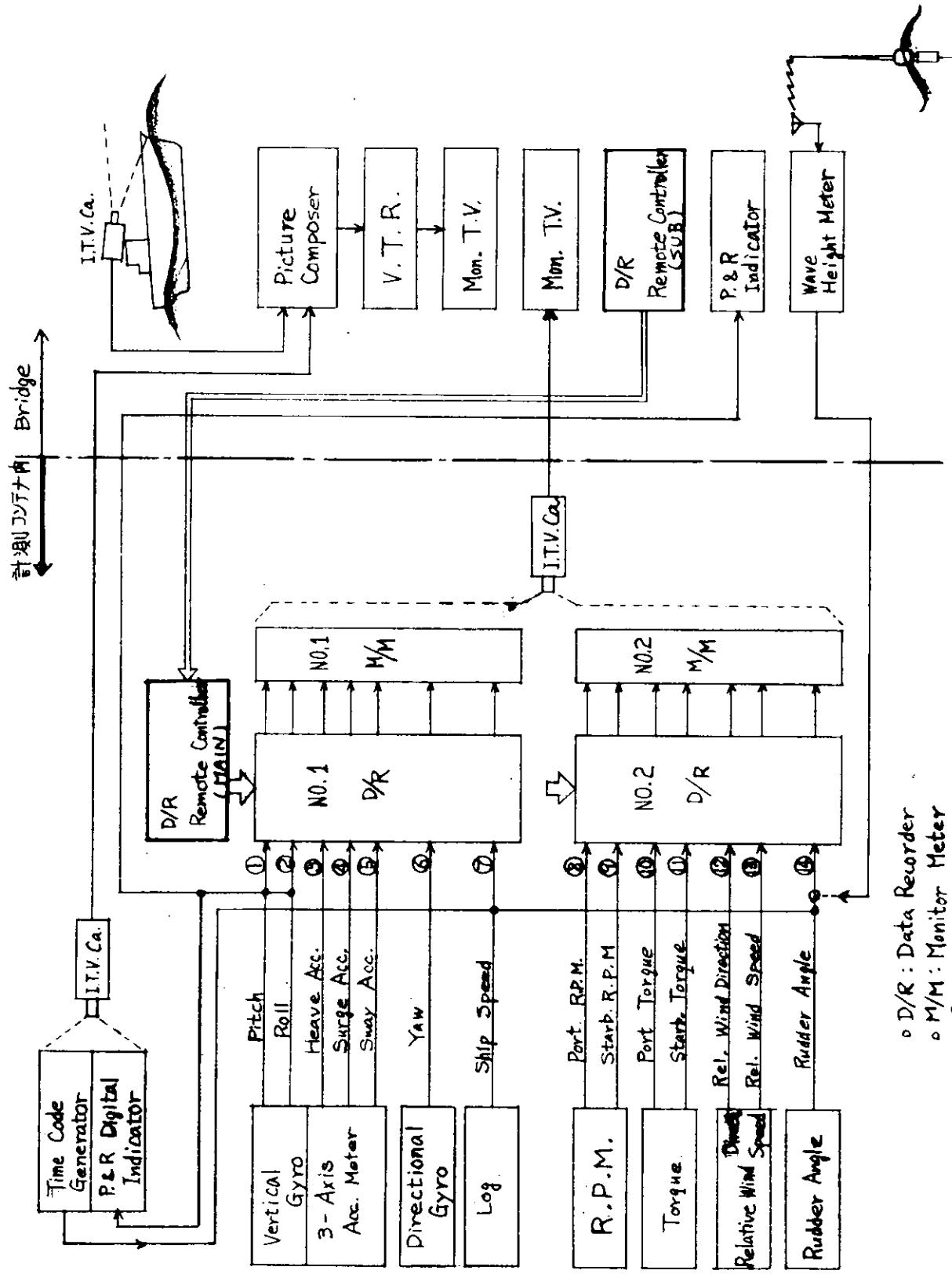


Fig. 4.4-1 計測措置の設置位置





- D/R : Data Recorder
- M/M : Monitor Meter
- Ca : Camera

Fig. 4.5-1 船用コンテナシステムのプロックダイヤグラム

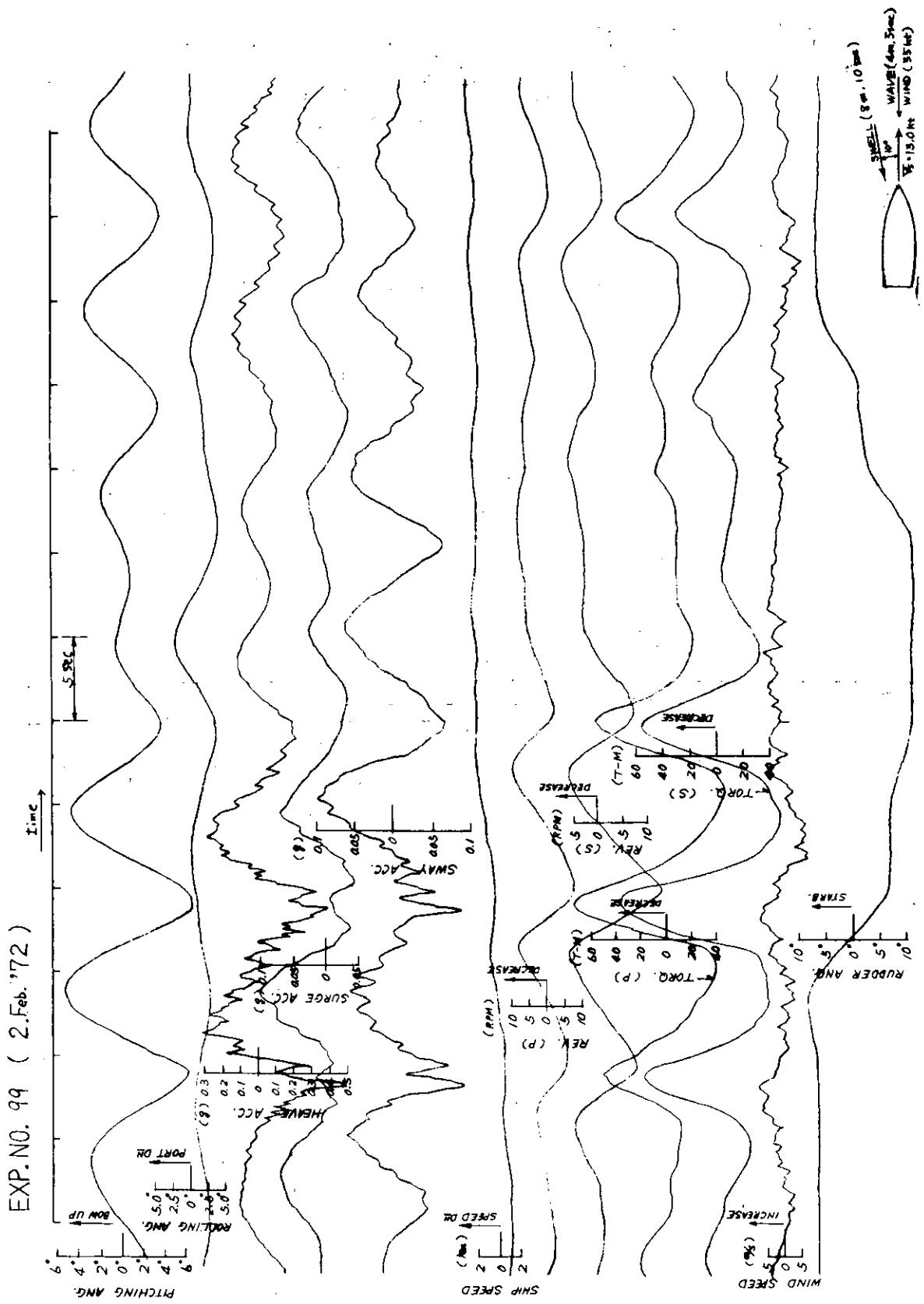


FIG. 4.6-1

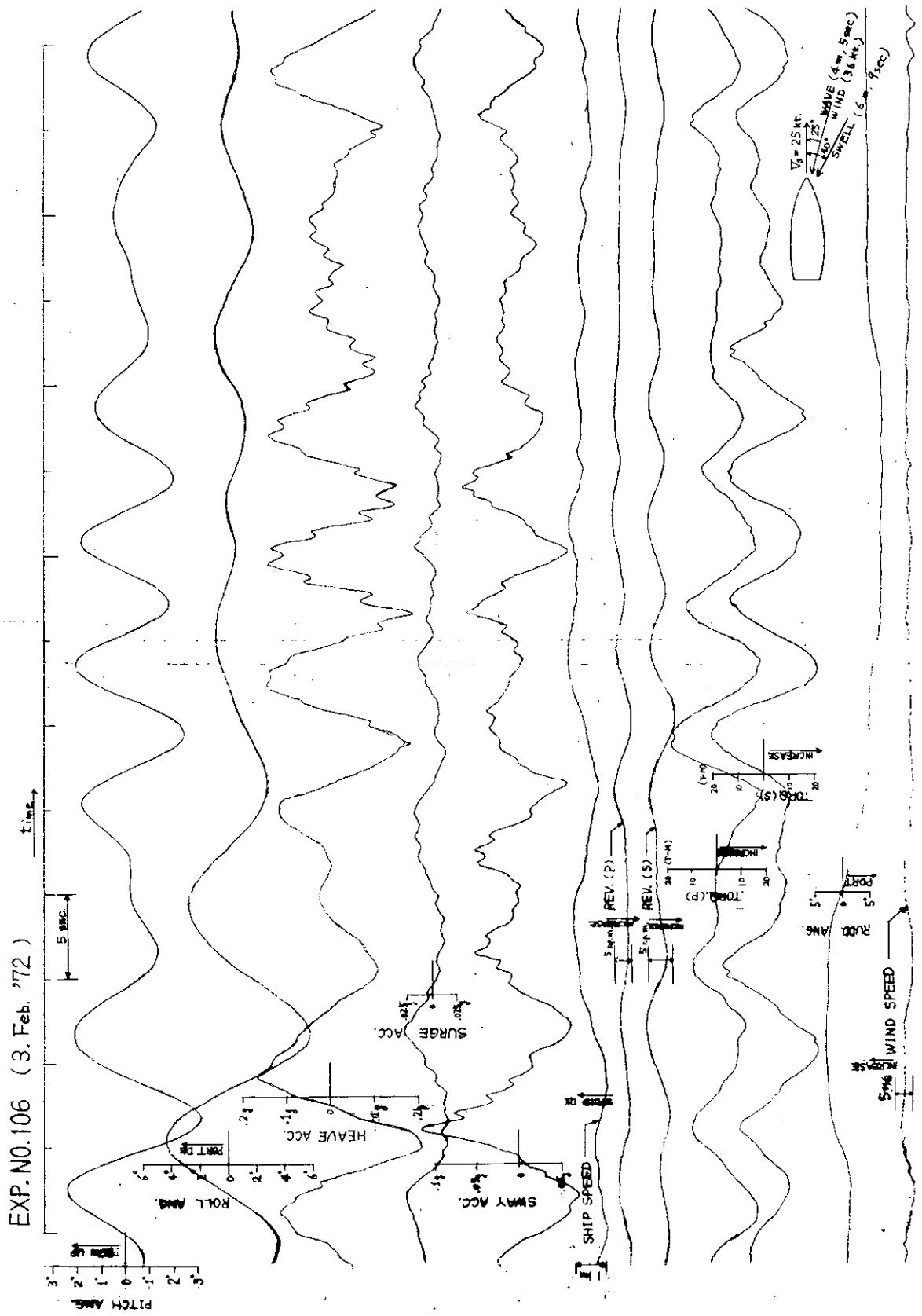
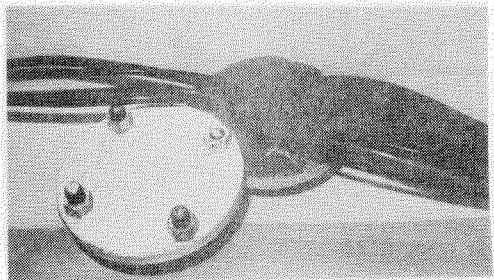
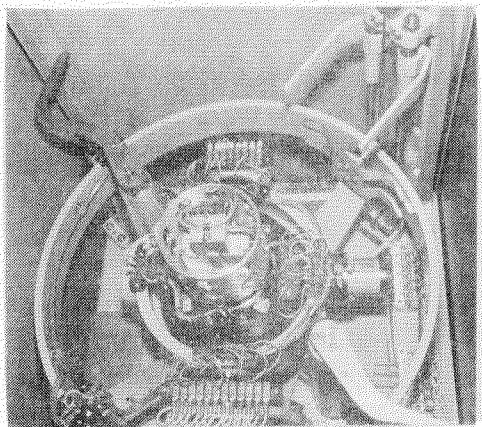


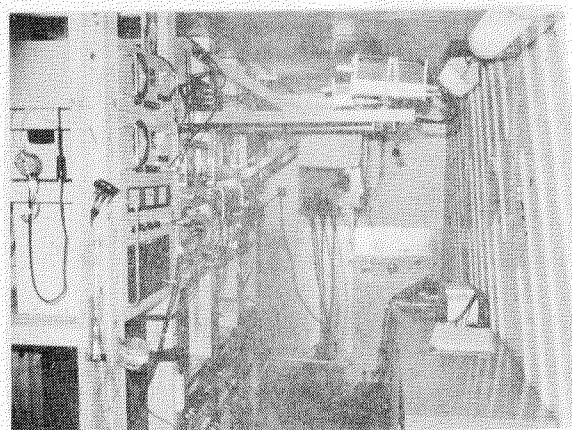
Fig. 4.6-2



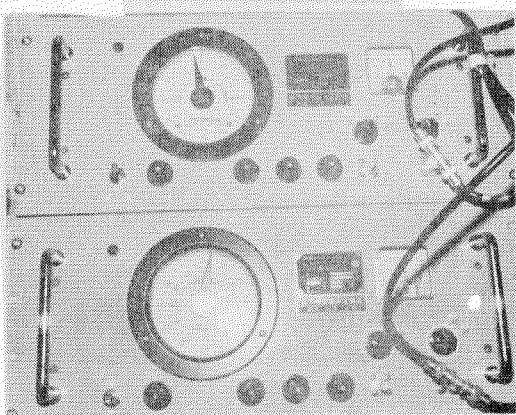
4-4 配線用の孔



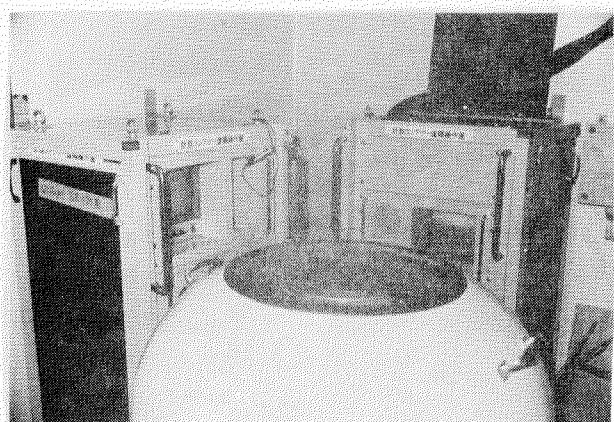
4-5-2a 水封装置内(輪盤室)
の見方.1



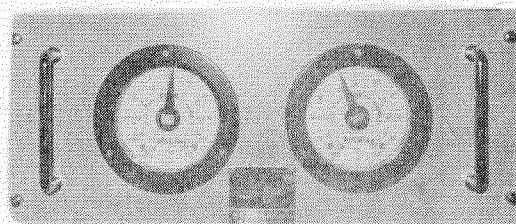
4-5-A 計測コントロール板



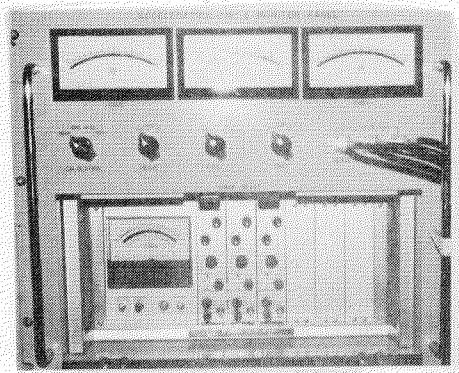
4-5-2b ロールピット計測器



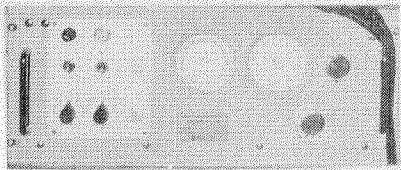
4-5-B 測定室内の状況



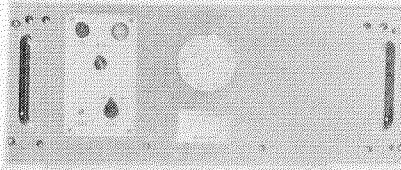
4-5-2c ロールピット計測器



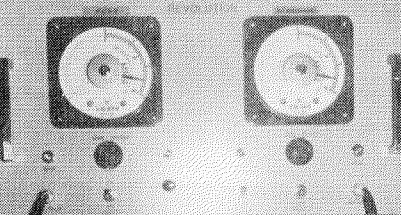
4-5-3 三軸ジャイロ速度計
アンプ



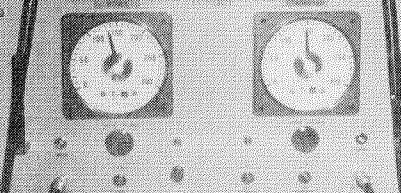
4-5-4 三軸ジャイロ



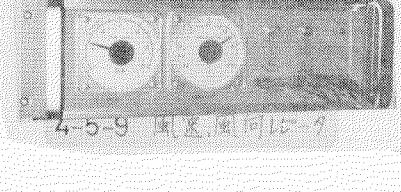
4-5-5 三軸ジャイロ



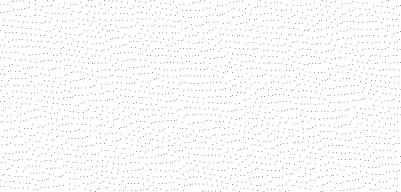
4-5-6 三軸ジャイロ



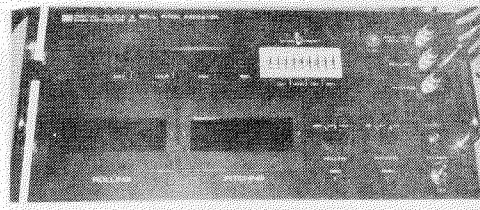
4-5-7 三軸ジャイロ



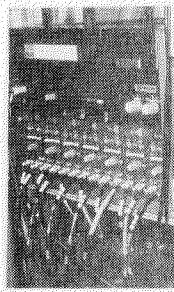
4-5-8 三軸ジャイロ



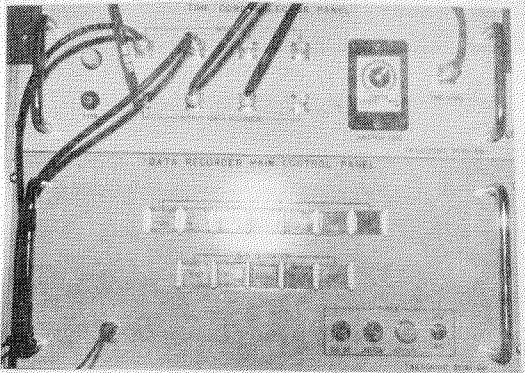
4-5-9 三軸ジャイロ



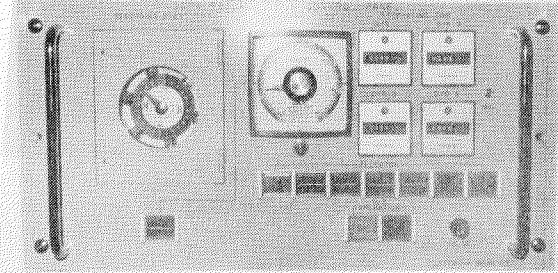
4-5-10 時刻信号発生器



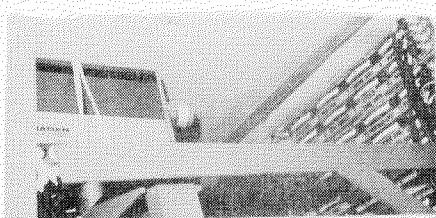
4-5-11 データレコーダ



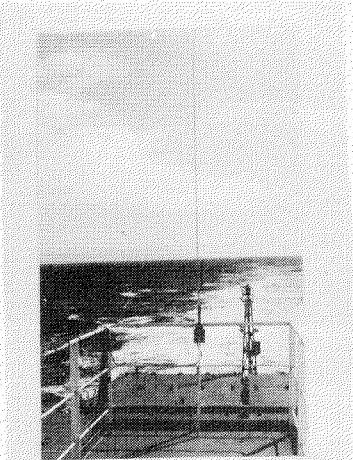
4-5-12-1 リモートコントローラー
(メインコントロールハブ用)



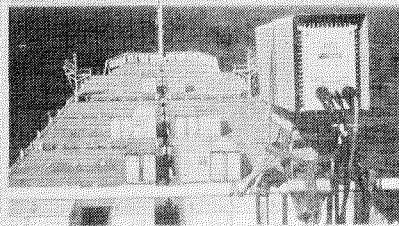
4-5-12-2 リモートコントローラー
(サブコントローラ用)



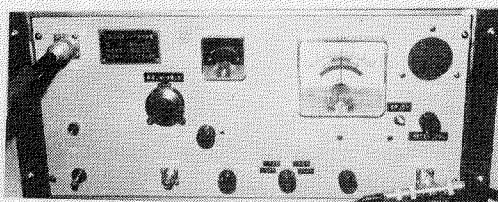
4-5-13-1 モニター用
テレビ装置



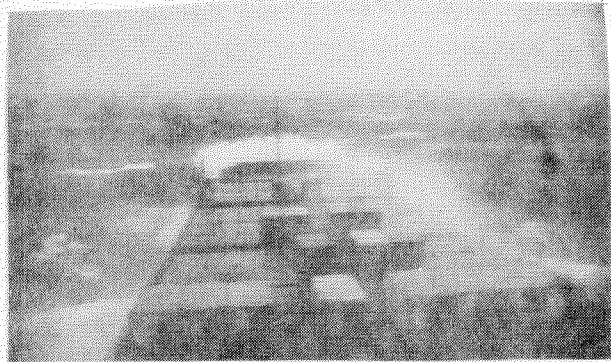
4-5-14-1 波高計測器



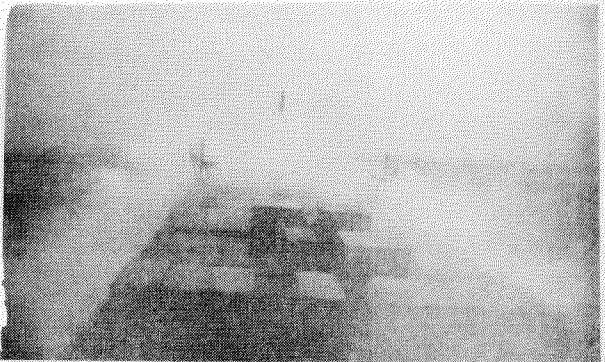
4-5-13-2 船内用料金装置



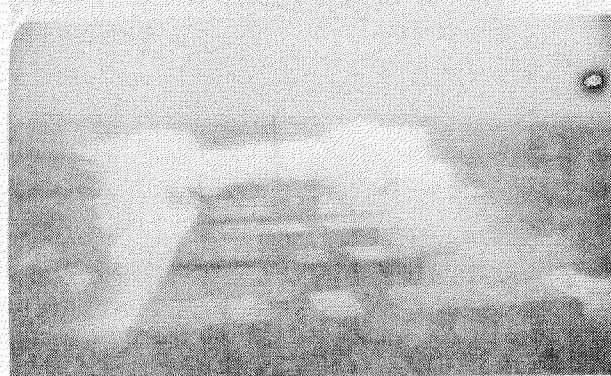
4-5-14-2 波高計装置



4-6-a



4-6-d



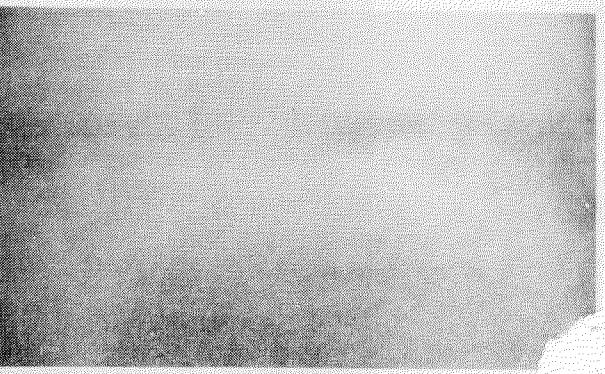
4-6-b



4-6-e



4-6-c



4-6-f

EXP 99 T. 航行 I. IR
(Q→f→40) 游泳中