

日本船舶振興会 昭和47年度補助事業
“大型超高速船の開発に関する研究”

研究資料 No. 171

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48年3月

社団法人

日本造船研究協会

は　し　が　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和47年度補助事業「大型超高速船の開発に関する研究」の一部として日本造船研究協会が第125研究部会においてとりまとめたものである。

第125研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	中村彰一(大阪大学)	
副部会長	竹沢誠二(横浜国立大学)	
委員	安部光弘(三井造船)	相原和樹(三菱重工業)
	岡本洋(川崎重工業)	小川陽弘(船舶技術研究所)
	辛島光二(三菱重工業)	雁野昌明(日立造船)
	岸本修(三井造船)	北川弘光(船舶技術研究所)
	斎藤公男(大阪大学)	滋野正明(佐野安船渠)
	鈴木敷(造船技術センター)	瀬尾敏一(日本鋼管)
	高石敬史(船舶技術研究所)	高木又男(日立造船)
	高松攻(日立造船)	田上暉(東京計器)
	田才福造(九州大学)	田崎亮(石川島播磨重工業)
	田添英士(大阪造船)	田中紀男(大阪府立大学)
	田中兵衛(昭和海运)	永松秀一(住友重機械工業)
	永松宣雄(川崎重工業)	八田守江(日本郵船)
	花園史郎(函館ドック)	原田信作(大阪商船三井船舶)
	日向義博(ジャパン・ライン)	姫野洋司(大阪府立大学)
	藤井齊(三菱重工業)	藤野正隆(東京大学)
	藤原芳夫(名村造船)	細田龍介(大阪府立大学)
	前田久明(東京大学)	牧園正孝(山下新日本汽船)
	元良誠三(東京大学)	森正彦(石川島播磨重工業)
	森川卓(船主協会)	山崎芳嗣(佐世保重工業)
	山本修(日本鋼管)	山口勇男(日本海事協会)

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	大川豊(船舶技術研究所)	尾崎久(川崎汽船)
	鬼木博文(川崎重工業)	辛島光二(三菱重工業)
	雁野昌明(日立造船)	岸本修(三井造船)
	田中久仁雄(石川島播磨重工業)	朝長義英(三菱重工業)
	中山省児(石川島播磨重工業)	八田守江(日本郵船)
	日向義博(ジャパン・ライン)	前田久明(東京大学)
	溝口純敏(石川島播磨重工業)	三橋寛治(川崎重工業)
	山下保己(川崎重工業)	

目 次

1. 緒 言	1
2. 理論計算	2
2.1 斜波中の抵抗増加	2
2.1.1 船型および計算状態	2
2.1.2 計算結果および考察	2
2.2 横方向波浪荷重の応答関数	5
2.2.1 横剪断力	5
2.2.2 横曲げモーメント	5
2.2.3 摱りモーメント	5
2.3 耐航性能要素の短期分布と長期分布	19
2.3.1 横方向波浪荷重の短期分布と長期分布	19
2.3.2 縦方向波浪荷重の短期分布と長期分布	23
2.3.3 北太平洋における船体応答の長期分布	25
2.4 不規則海面の発生方法	39
2.5 冬期北太平洋航海のシミュレーション計算	41
3. 模型実験	60
3.1 斜め波による船体の縦曲げ、横曲げおよび捩りモーメントの計測	60
3.1.1 はしがき	60
3.1.2 実験方法	60
3.1.3 実験結果	60
3.1.4 考 察	62
3.1.5 む す び	62
3.2 航走中船体に加わる横運動波浪強制力の計測	76
3.2.1 研究の目的	76
3.2.2 供試模型船と計測装置	76
3.2.3 実験状態	76
3.2.4 実験結果	76
3.2.5 実験結果に対する考察	77
3.3 縦波中における抵抗増加および推進性能の実験	83
3.3.1 実験の種類および方法	83
3.3.2 試験状態	83
3.3.3 実験結果および考察	83
4. 欧州航路高速コンテナ船 K M 丸による実船試験結果の解析	92
4.1 まえがき	92
4.2 航海状況	93
4.3 全振幅、周期の統計的特性	94
4.4 スペクトルの特性	96
4.5 大風浪下意識的減速の効果	97

4. 6 あとがき	100
5. 実船試験	128
5.1 船載型船体運動高速解析装置の概要	128
5.1.1 経緯	128
5.1.2 外観、設置場所	129
5.1.3 計算内容	129
5.1.4 操作法	130
5.1.5 ハードコピーの例	130
5.2 ニューヨーク航路コンテナ船J A号による実船試験	135
5.2.1 経緯	135
5.2.2 供試船、試験期間および計測員	135
5.2.3 計測項目および計測時期	136
5.2.4 計測装置の設置と配線	136
5.2.5 計測経過および感想	137
5.3 P S W航路コンテナ船S A号による実船試験	150
5.3.1 概要	150
5.3.2 経緯	150
5.3.3 供試船、計測員	150
5.3.4 計測項目、計測時間	151
5.3.5 リアルタイム解析装置の搭載	152
5.3.6 計測装置、解析装置等の設置と配線	152
5.3.7 おわりに	152
6. 結言	156

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対処し、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航行時における船体運動、加速度や推進性能などの計測と、これに並行して模型実験および理論計算を行ない、波浪中における船体運動の激化によって誘起される背波打込み、シャター、スラミングなどの諸現象や、波浪荷重、速度低下等を解明し、この種船舶の波浪中特性を把握し、基本設計時に船体の主要目等の決定に必要な資料を求める。また艤装品の損傷防止やコンテナの安全輸送をはかるため、大波浪中における過激な船体運動あるいはそれに伴う諸現象を回避するための意識的な減速や変針など、荒天時における操船上の諸問題についても検討を加える。

以上のような目的で、昭和46年度に引き続き次のような研究を実施した。

I 理論計算

S R 108研究部会における研究の一部として、昭和44年度より昭和46年度まで実施されたコンテナ船の耐航性に関する理論計算を継続し、次のような事項について研究を行なつた。

- a) 斜め規則波中における抵抗増加の理論計算法を発展させ、 $L/B = 6.89$ 1軸コンテナ船型について数値計算の実施。
- b) $L/B = 6.89$ 1軸コンテナ船型について斜め規則波中における横剪断力、横曲げモーメントおよび捩りモーメントの計算。
- c) 横方向および縦方向波浪荷重の短期分布および長期分布の計算および波浪の長期資料の地域的特徴や船の針路と波向との相対関係が船体応答の長期分布に及ぼす影響についての検討。
- d) 北太平洋の波浪観測資料をもとに乱数によつて任意短期不規則海面を設定する方法についての検討およびこのような海面でのウェザーカルーチンの計算。

II 模型実験

- a) 船研角水槽において、 $L/B = 6.89$ の1軸コンテナ船模型を用いて斜め規則波中における縦曲げモーメント、横曲げモーメントおよび捩りモーメントの計測。
- b) 東大航海性能水槽において、Lewis form断面形状を有する2種の準二次元柱体が横波中航走時の波浪強制力および物体表面に働く変動圧力の計測ならびに理論計算との比較。
- c) 阪大水槽において、 $L/B = 8$ の1軸コンテナ船模型を用いて正面規則波中および不規則波中における抵抗試験および自航試験による抵抗増加、推進性能の計測。

III 実船試験結果の解析

昨年度実施した欧州航路高速コンテナ船「KM丸」による実船試験結果の統計解析およびスペクトル解析を行ない、就航状態での波浪中特性を調べた。

IV 実船試験

- a) 航行中の船体運動等の実測記録を実時間で統計解析やスペクトル解析を行ない図化表示する船載型船体運動高速解析装置を開発製作した。
- b) ニューヨーク航路コンテナ船「JA号」および北米西海岸航路コンテナ船「SA号」の2隻に昨年度の実船試験に使用した計測コンテナを搭載し、航海中の船体運動、加速度、推進性能等を計測した。

2. 理 論 計 算

2.1 斜波中の抵抗増加

斜波中における抵抗増加計算式は昨年度 SR108 報告書¹⁾ に示されているので省略する。

2.1.1 船型および計算状態

計算は SR108 の 1 軸コンテナ船 ($L/B = 6.89$) を対象に行なつた。計算状態は次のとおりである。

$$F_n = 0.2, 0.3$$

$$\chi = 180^\circ (\text{Head Sea}), 150^\circ, 120^\circ, 90^\circ (\text{Beam Sea})$$

$$60^\circ, 30^\circ, 0^\circ (\text{Following Sea})$$

$$\lambda/L = 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0$$

2.1.2 計算結果および考察

Fig. 2.1.1 および Fig. 2.1.2 に抵抗増加係数の計算結果を実線で示す。図中、黒丸印は船舷角水槽において行なわれた自由航走模型による自航試験より得られたプロペラの推力増加係数である。²⁾ また、阪大水槽で行なわれた正面規則波中における抵抗増加の実験値³⁾ を破線で示す。Vossers 等⁴⁾ が行なつた Series 60 船型による斜波中の系統的自航試験において求められた推力増加曲線より、計算状態と同じ $C_D = 0.56, L/B = 6.9, L/d = 20.6$ の状態における推力増加を挿間法で読み取り、 $F_n = 0.2$ の場合について、Fig. 2.1.1 に白丸印で示す。

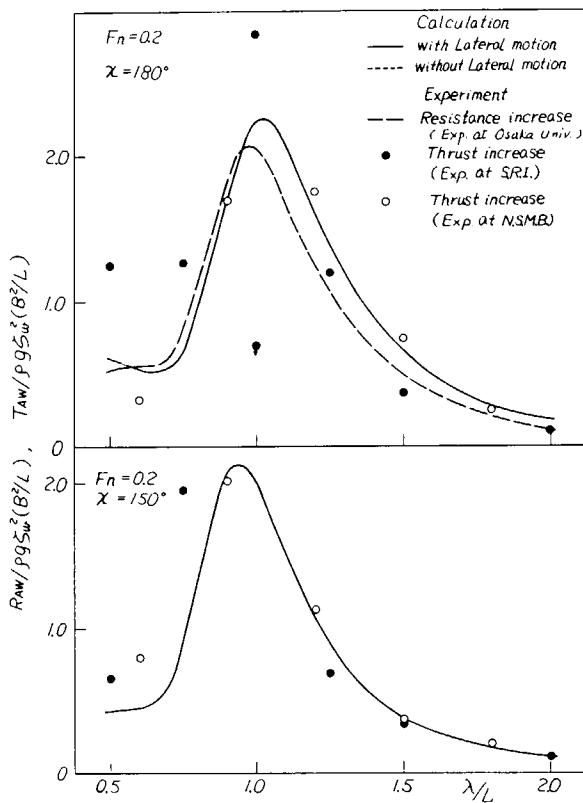
$F_n = 0.2$ の場合、向い波の状態 ($90^\circ < \chi \leq 180^\circ$) において計算値と実験値は定性的にも定量的にも比較的一致しているが、横波および追い波の状態 ($0^\circ \leq \chi \leq 90^\circ$) においては、抵抗増加の波長に対する変化の傾向は似ているが、数量的にはあまりよく一致していない。これは、理論計算においては、船体表面において入射波が反射されることによる抵抗増加成分が追い波状態で大きくなるためと考えられる。また、斜波中における自航試験は、理論の展開のもととなつてゐる仮定とかなり異なる状態で行なわれてゐることも原因の一つと思われる。すなわち、理論においては、斜波中における横方向の漂流はないものと考え、また、船体の平均針路と船体重心の平均の航跡が波向角に一致する。しかし、実験においては、手動あるいは自動操舵によつて船体重心の平均航跡が波向角と一致するように実施されている。

$F_n = 0.3$ の場合、 $\chi = 180^\circ$ (正面向い波状態) においては計算値と実験値の一致は非常に良い。しかし、推力増加との一致はよいとは言い難い。従つて、現状では、斜波中抵抗増加の理論算結果と実験結果の厳密な比較は困難である。しかし、斜波中抵抗増加全体としては、実用上概ね満足しうるものと考えられる。

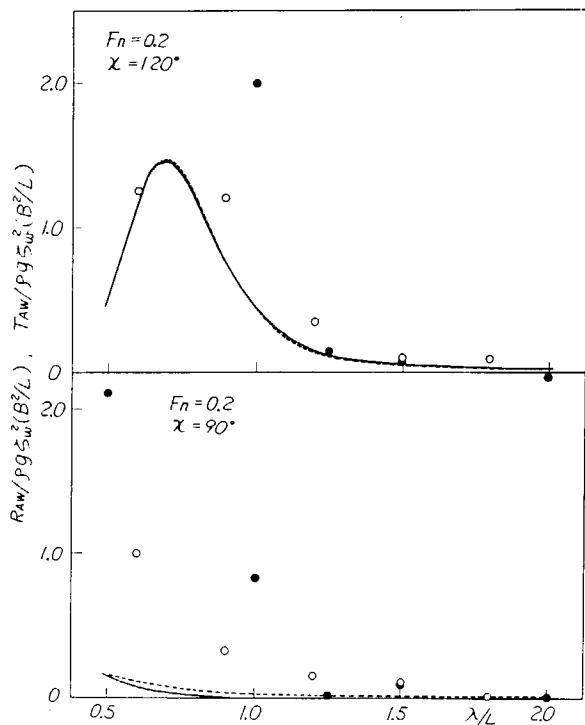
なお、横運動の斜波中抵抗増加に対する寄与の程度を調べるため、縦運動だけによる抵抗増加を計算し、Fig. 2.1.1 および Fig. 2.1.2 中に点線で示してある。これらの図から横運動の寄与は斜め向い波では皆無に等しく、斜め追波の横揺同調状態で若干認められる程度であり、従つて斜波中の抵抗増加の計算には実用上、上下揺、縦揺の縦運動だけを考慮すればよいことが明らかとなつた。

参 考 文 献

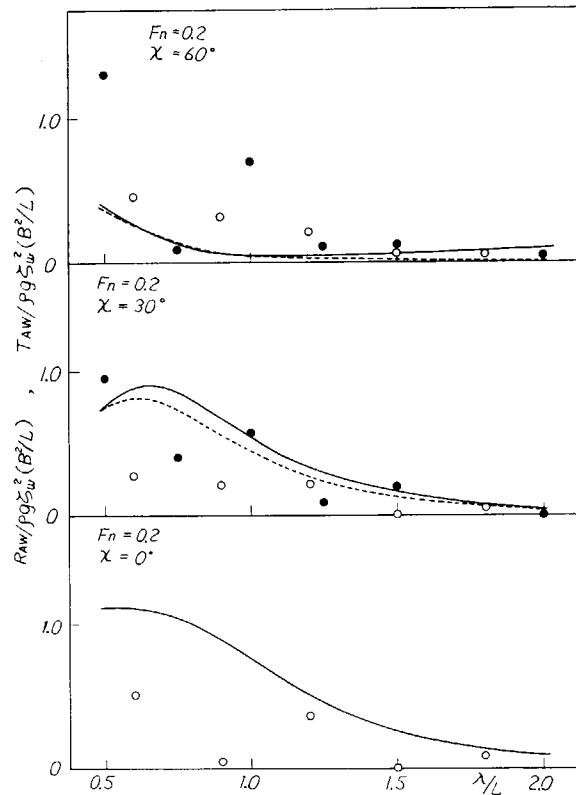
- 1) 高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究報告書、SR108 昭和46年度報告書、日本造船研究協会研究資料 No. 143, 昭47.3
- 2) 同上 昭和44年度報告書、日本造船研究協会、研究資料 No. 110, 昭45.3
- 3) 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究報告書、SR125 昭和46年度報告書、日本造船研究協会、研究資料 No. 157, 昭47.3
- 4) Vossers, G. et. al : Experiments with Series 60 Models in Waves, T.S.N.M.E. Vol. 103, 1961



(1)

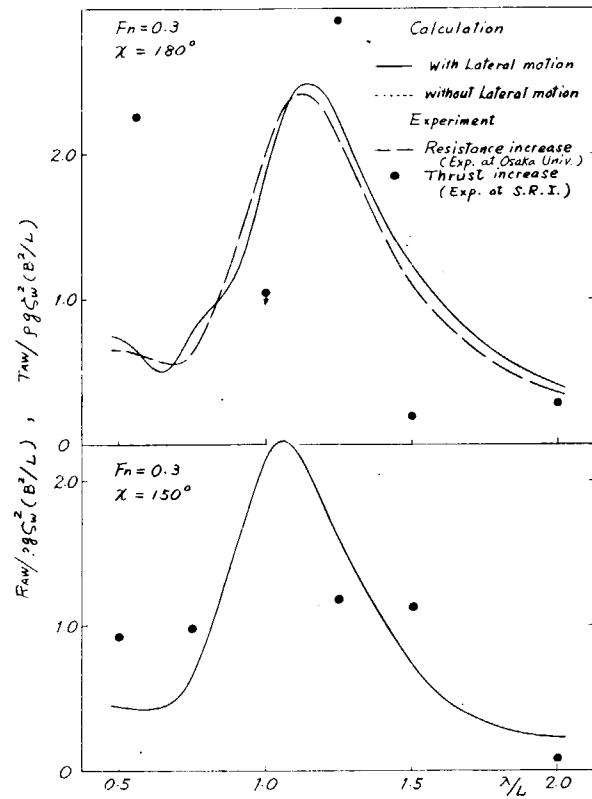


(2)

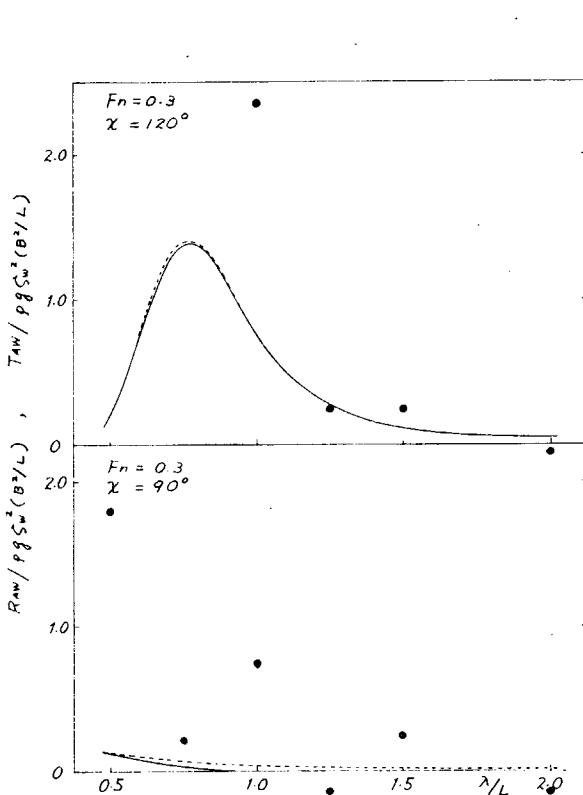


(3)

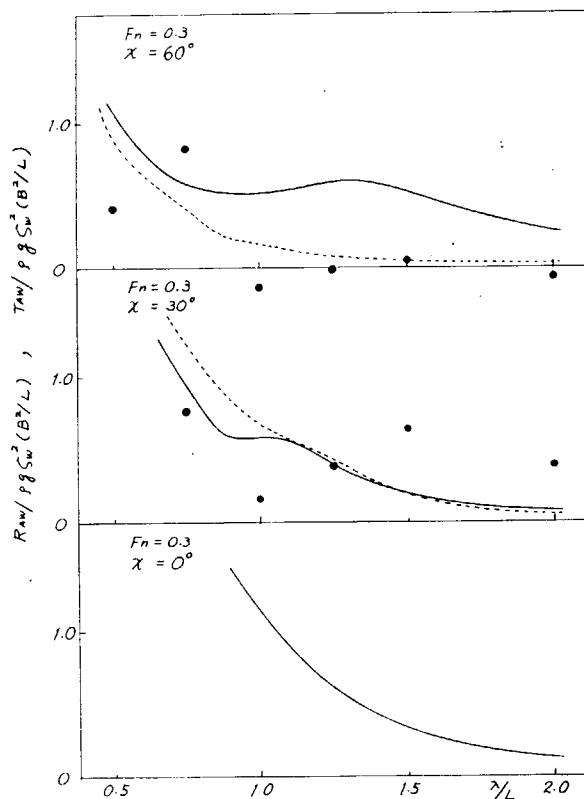
Fig 2.1.1 Resistance increase in regular oblique waves. ($F_n = 0.2$)



(1)



(2)



(3)

Fig 2.1.2 Resistance increase in regular oblique waves. ($F_n = 0.3$)

2.2 横方向波浪荷重の応答関数

斜め規則波中を航行する船には、縦剪断力、縦曲げモーメントの他に、Fig. 2.2.1 に示すような、横剪断力、横曲げモーメント、振りモーメントが働く。この、いわゆる横方向波浪荷重を、船体運動と波の運動を考慮した永元¹⁾ 等の方法で求めた。

計算は、模型実験との比較のため、SR108 の $L/B = 6.89$ の 1 軸コンテナー船²⁾ の満載状態について行なつた。重心位置、振りモーメントを計算する軸等は、本報告書の船研での模型実験の値と合わせている。計算結果は、船長 L 、船幅 B 、波振幅 h_A を用いた無次元値で示す。

2.2.1. 横剪断力

Fig. 2.2.2 と Fig. 2.2.3 は船体中央での値である。 $\chi = 60^\circ$ の斜め追い波での値が全体的に大きく、そのピークは $\sqrt{L/\lambda}$ が 1.8~2.0 という波長の短い所にあり、船速が増すとともに大きくなっている。正面波に近い $\chi = 150^\circ$ や追い波に近い $\chi = 30^\circ$ 、さらに横波の $\chi = 90^\circ$ での値はそれほど大きくなく、ピークの位置も $\sqrt{L/\lambda}$ が 1.5 前後と $\chi = 60^\circ$ の場合にくらべるとやや波長の長い方に寄つている。

横剪断力の船長方向分布を Fig. 2.2.4 と Fig. 2.2.5 に示す。船首尾端から $1/4 L$ 付近にピークのある双峯状分布のものが多いが、船速のある場合にはその傾向がややくずれ、 $\chi = 60^\circ$ や、 $\chi = 90^\circ$ では、船体中央付近にピークを持つ单峯状分布となつていて。

2.2.2. 横曲げモーメント

船体中央の横曲げモーメントを Fig. 2.2.6 と Fig. 2.2.7 に示す。 $\chi = 30^\circ$ と $\chi = 150^\circ$ および $\chi = 60^\circ$ と $\chi = 120^\circ$ が似た傾向を示し、ピークはそれぞれ $\sqrt{L/\lambda}$ が 1.2 および 1.7 の近くにある。ピーク値は $\chi = 60^\circ$ 、 120° の場合の方が約 2 倍程大きい。

$\chi = 30^\circ$ の場合、 $F_n = 0.25$ や 0.3 など、船速の大なるとき、 $\sqrt{L/\lambda}$ の大きい所でいちぢるしく大きなピークが出ているが、これは、このあたりで船と波との出合周期が 0 に近くなつてることが一因と考えられる。

速度によるピーク値の変化はそれほど大きくない。

横曲げモーメントの船長方向分布を Fig. 2.2.8 と Fig. 2.2.9 に示す。船体中央付近にピークのある单峯型であり、ほぼ前後対称形である。

2.2.3. 振りモーメント

振りモーメントは、実験との比較のため、船体の上下方向重心位置を通る軸の回りについて計算している。

船体中央での値を Fig. 2.2.10 と Fig. 2.2.11 に示す。 $\sqrt{L/\lambda}$ に対して複雑な変化をしているが、 $\sqrt{L/\lambda}$ が 0.7 と 1.4~1.8 の近くにピークを持つものが多い。 $F_n = 0.3$ 、 $\chi = 60^\circ$ のときに大変大きな値となつていて、このあたりで横揺れ同調になつていていることが原因と思われる。

Fig. 2.2.12 と Fig. 2.2.13 は船長方向の分布であるが、船首より $1/4 L$ 付近にピークが来る傾向がある。またその値は $F_n = 0$ の場合には各出会い角についてそれほど大きな差がないが、 $F_n = 0.25$ の場合は、 $\chi = 60^\circ$ の斜め追い波のときに、他とくらべ大きな値となつていて。

以上を通してみると、横剪断力と横曲げモーメントの大きさは、縦剪断力、縦曲げモーメントの大きさと同じオーダーであり、船体強度に及ぼす影響の大きいことが予想される。

参考文献

- 1) 永元隆一外“波浪中で船体が受ける横剪断力、横曲げモーメントおよび振りモーメントの計算”、日本造船学会論文集、第 132 号、昭和 47 年 1~2 月。
- 2) 日本造船研究協会第 108 研究部会資料 A6110、昭和 45 年 3 月。

横剪断力

$$F_S = F_{SA} \cos (\omega_e t + \epsilon_{FS})$$

横曲げモーメント

$$M_L = M_{LA} \cos (\omega_e t + \epsilon_{ML})$$

振りモーメント

$$M_T = M_{TA} \cos (\omega_e t + \epsilon_{MT})$$

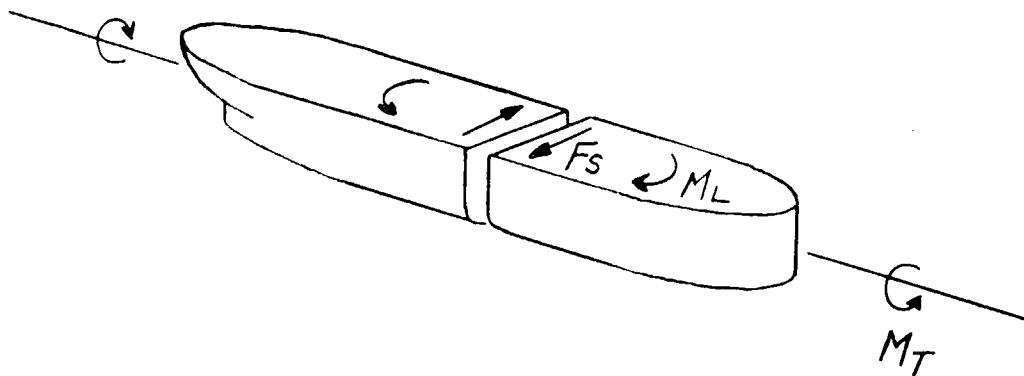


Fig 2.2.1 横方向波浪荷重

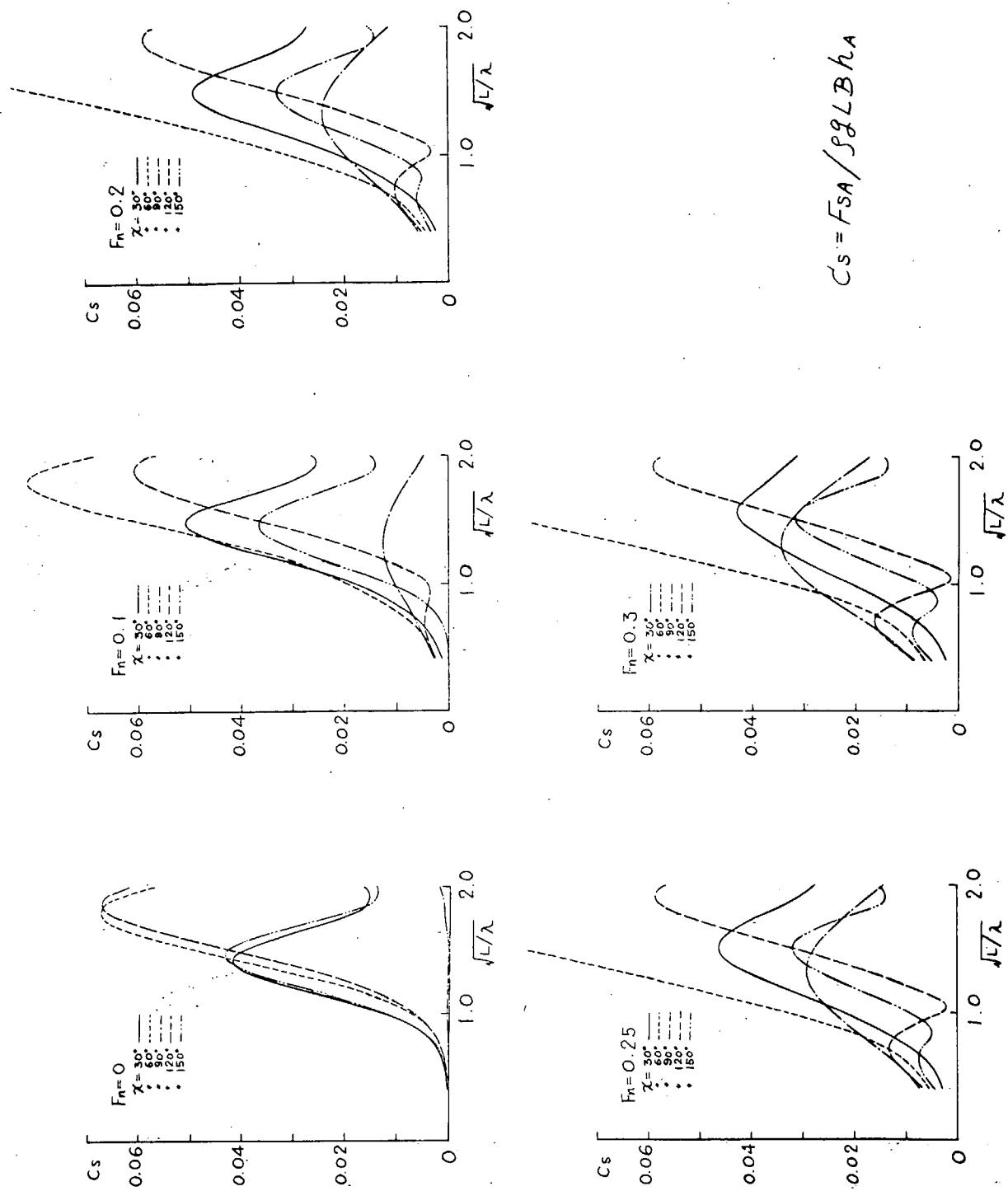
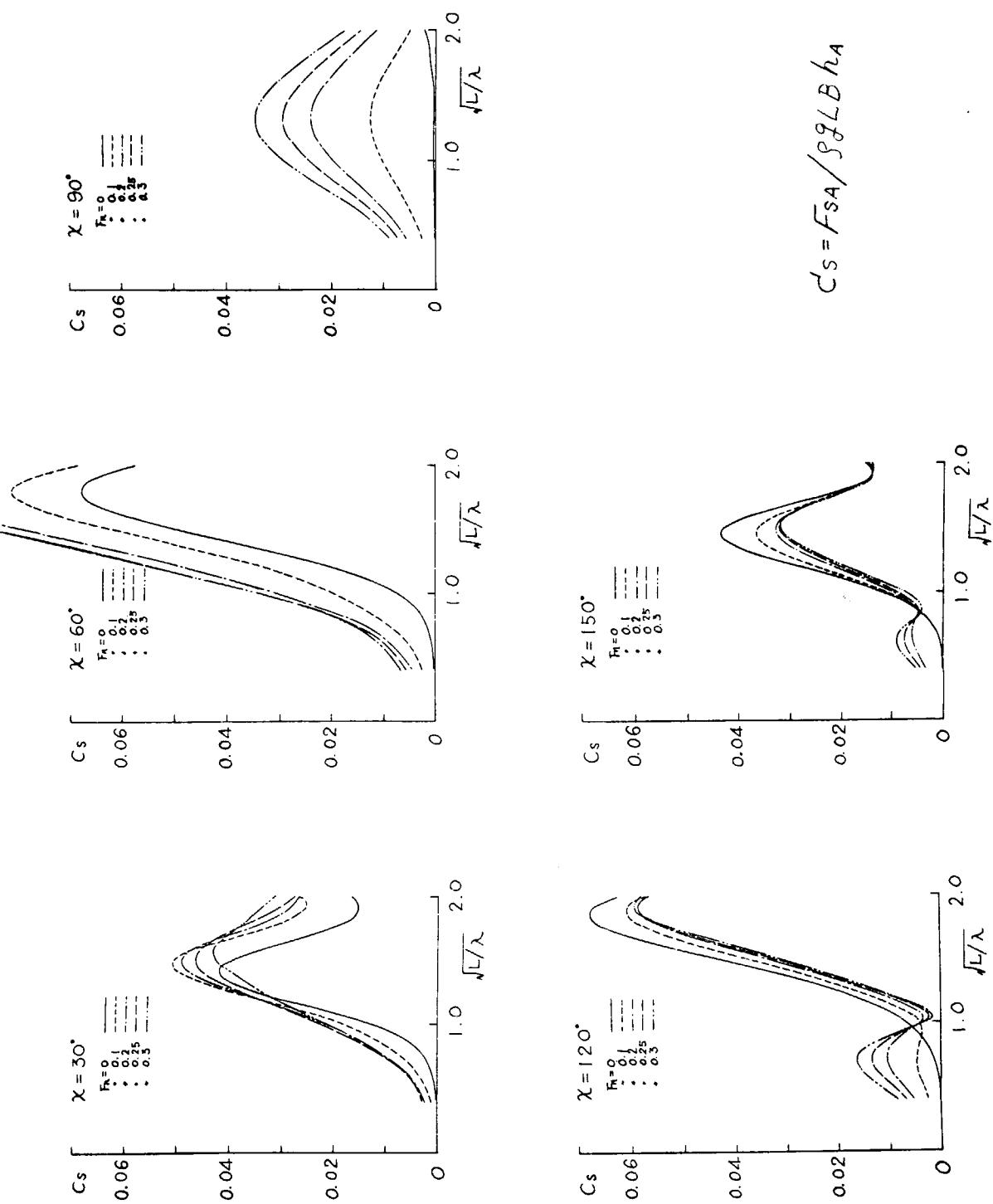


Fig 2.2.2 横剪断力



$$C'_s = F_{SA} / (\rho g L B h_A)$$

Fig 2.2.3. 橫剪斷力

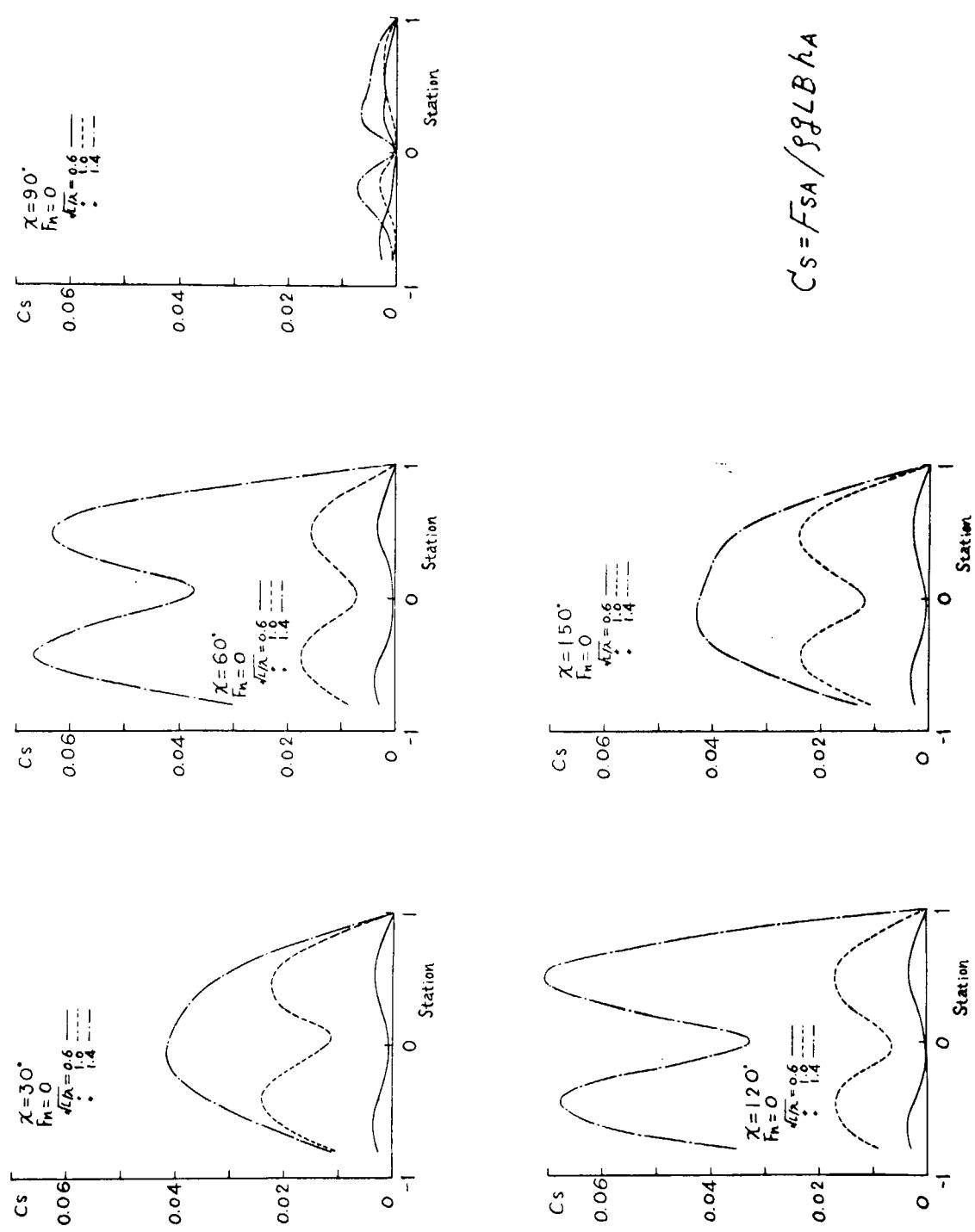
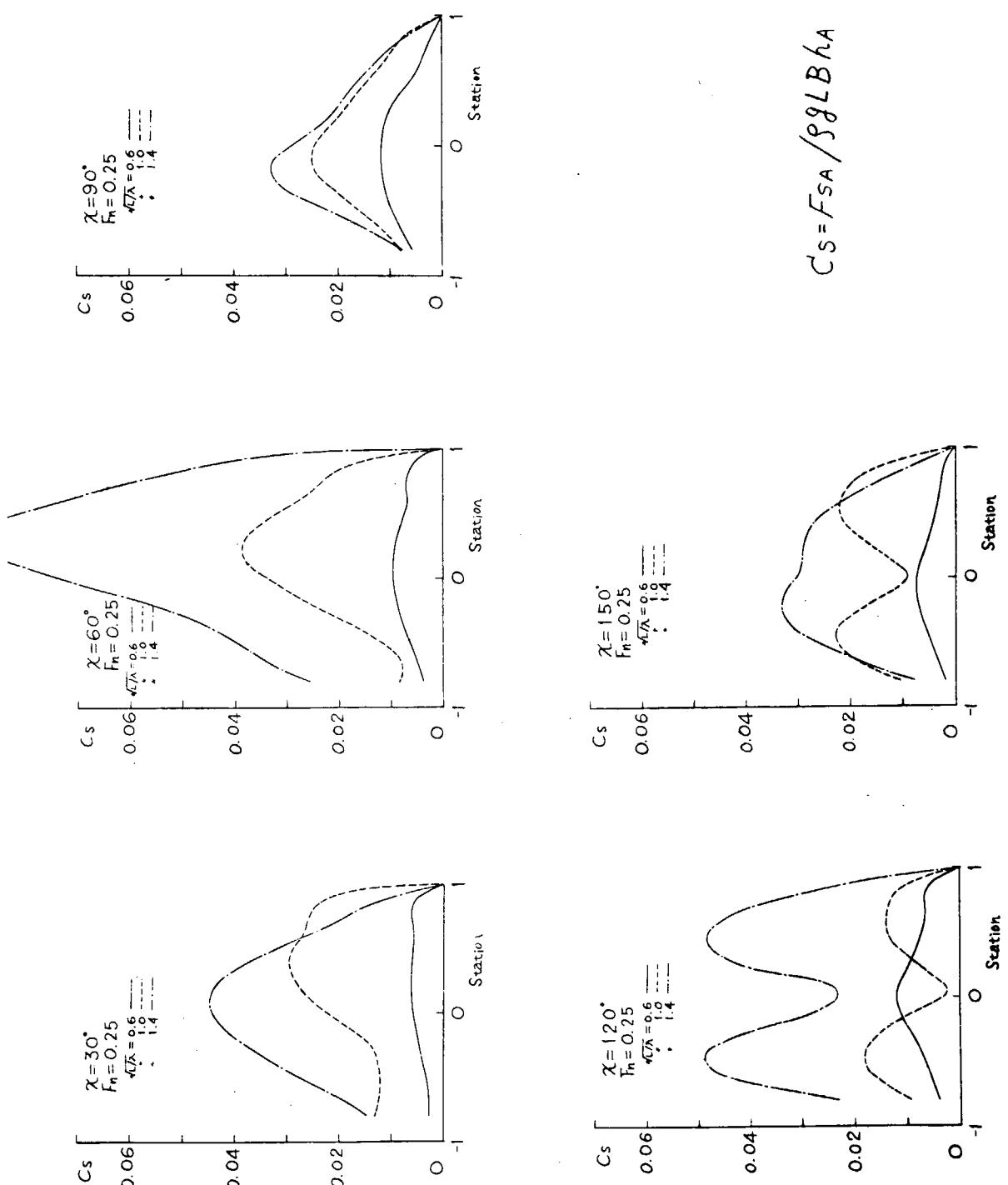


Fig 2.2.4 横剪断力



$$C'_s = F_{SA} / \rho g L B h_A$$

Fig 2.2.5 橫剪斷力

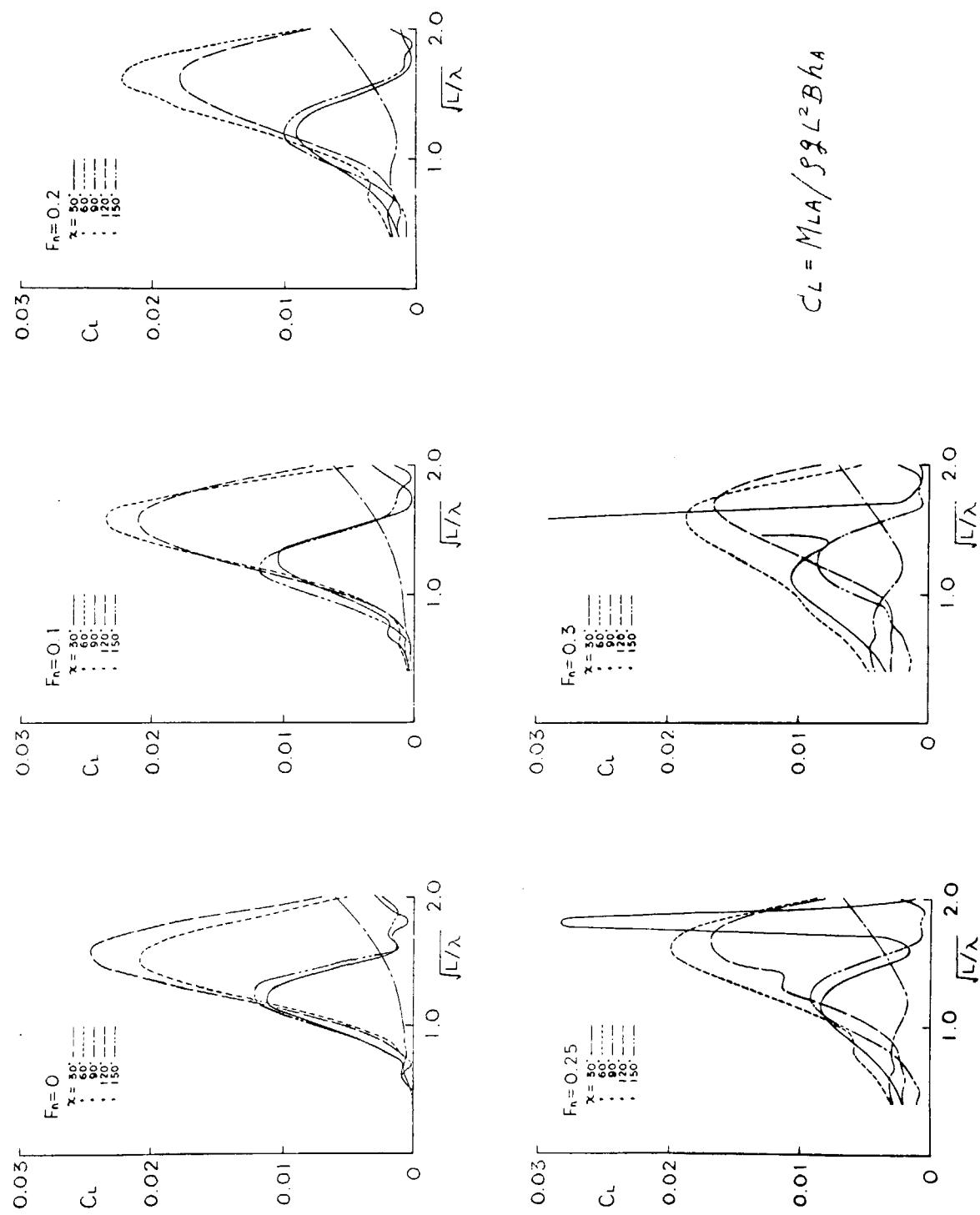


Fig 2.2.6 横曲げモーメント

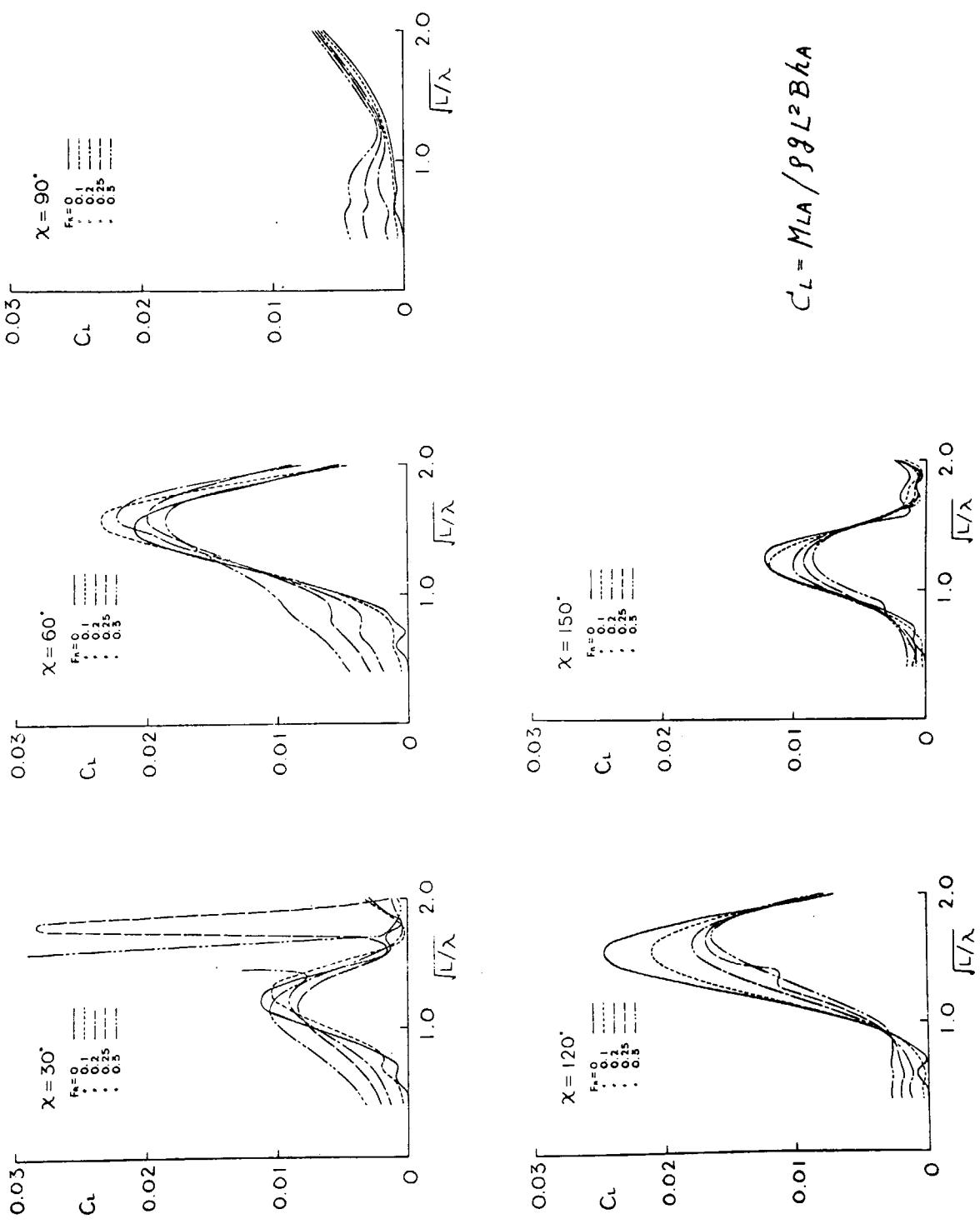
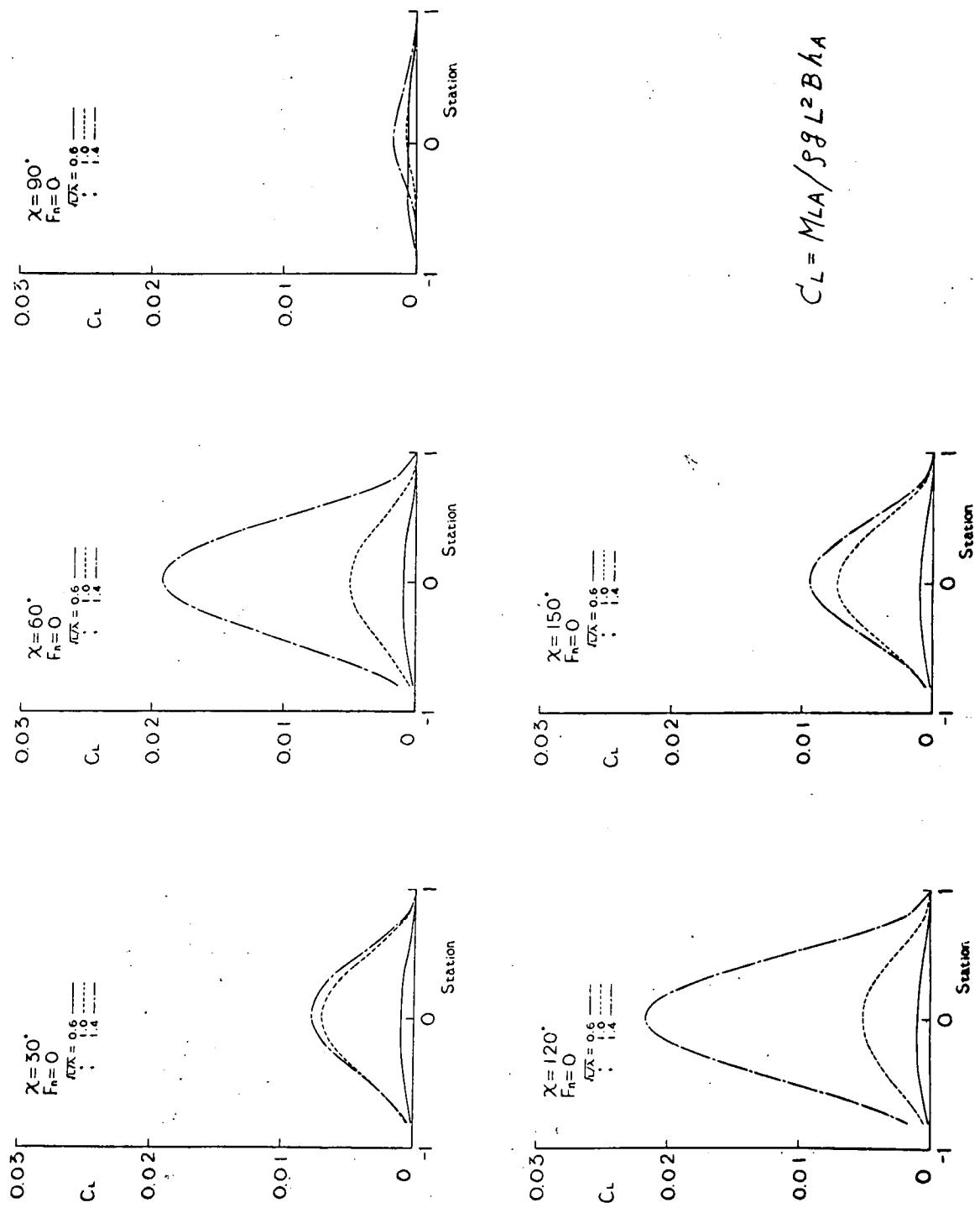
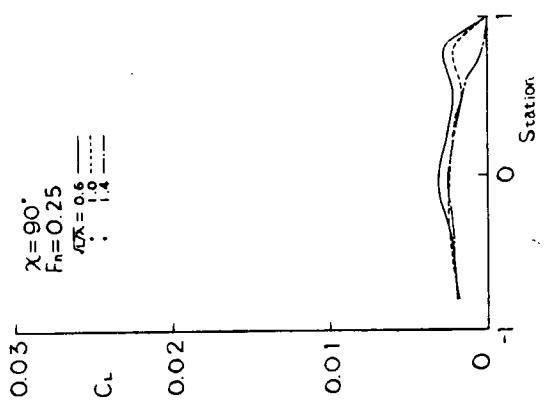


Fig. 2.2.7 横曲げモーメント



$$C_L = M_{LA}/(\rho g L^2 B h A)$$

Fig 2.2.8 横曲げモーメント



$$C'_L = M_{LA} / \rho g L^2 B h_A$$

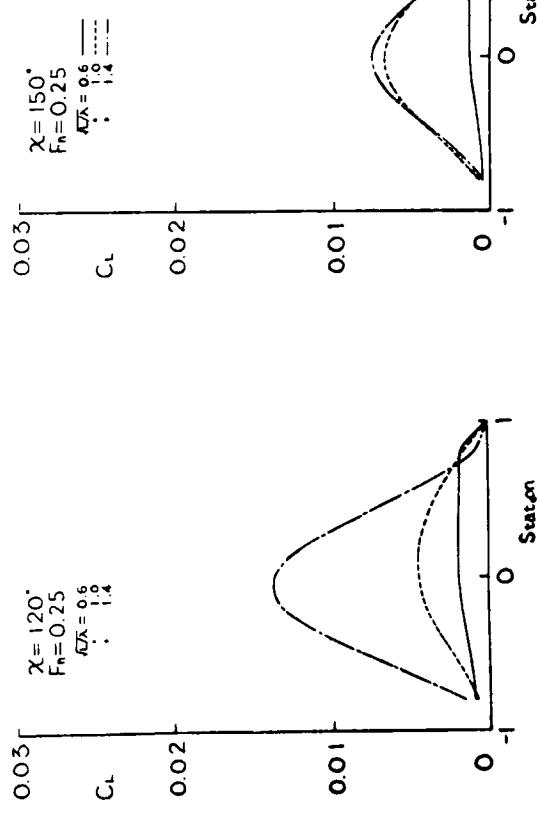
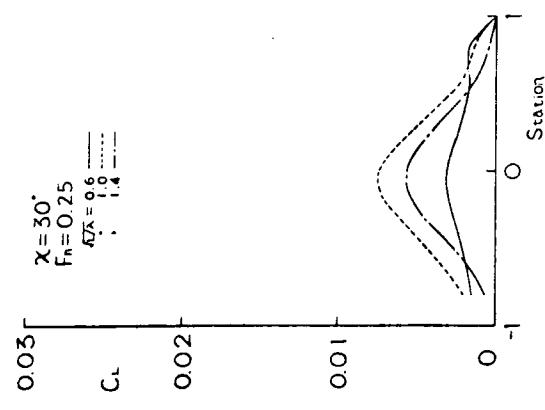
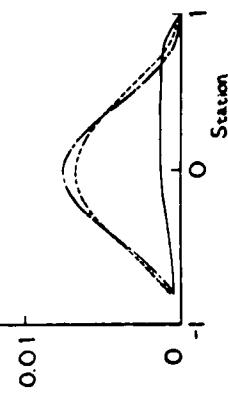
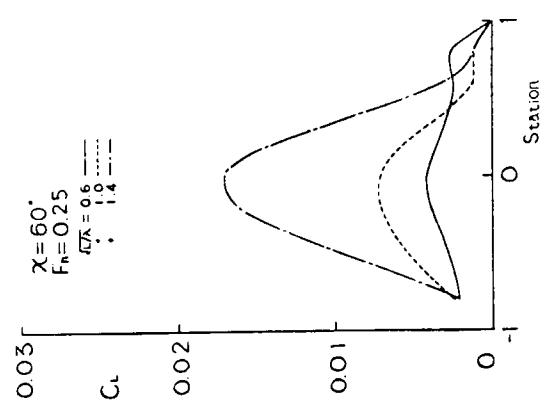


Fig 2.2.9 横曲げモーメント

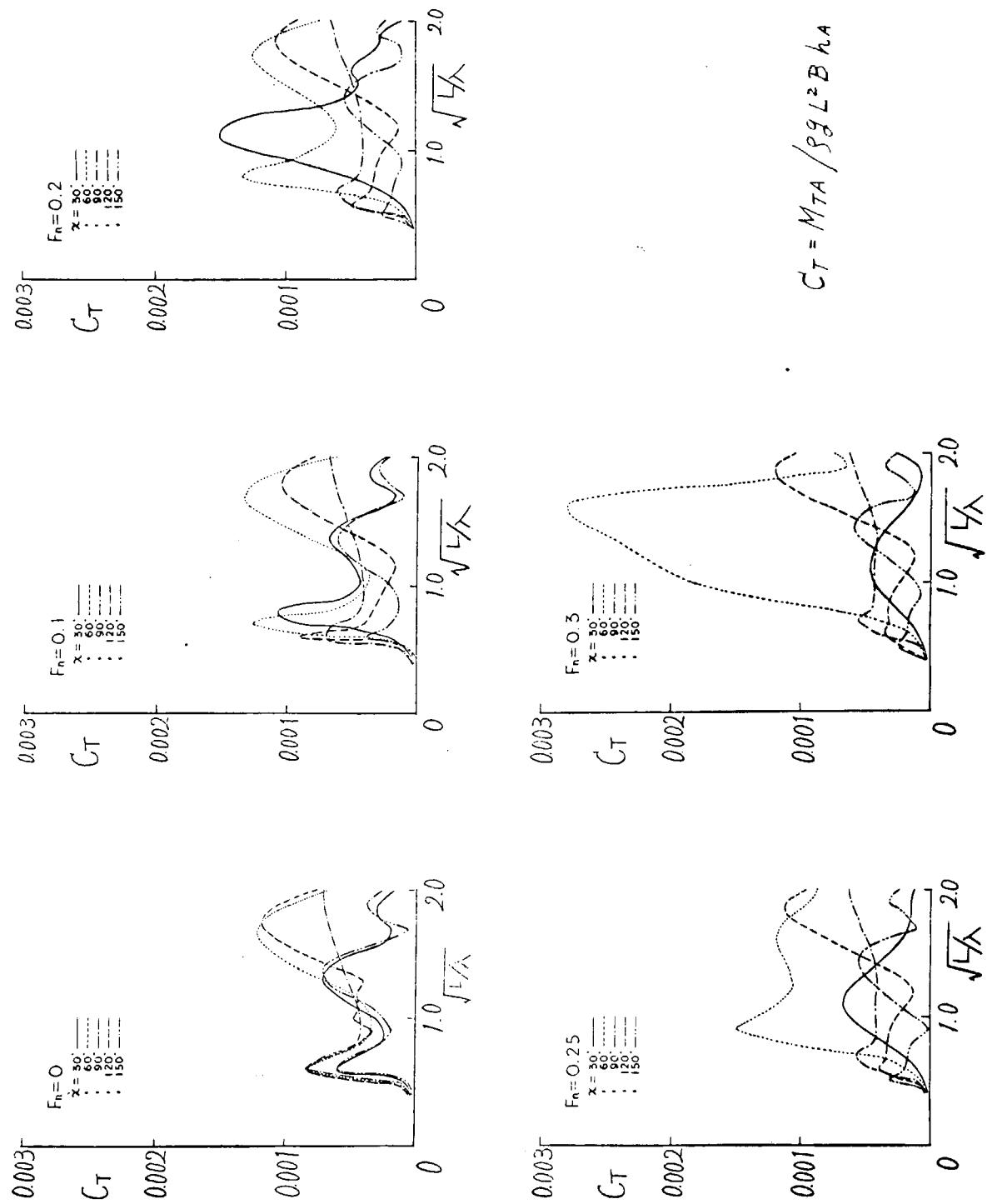


Fig. 2.2.10 振りモーメント

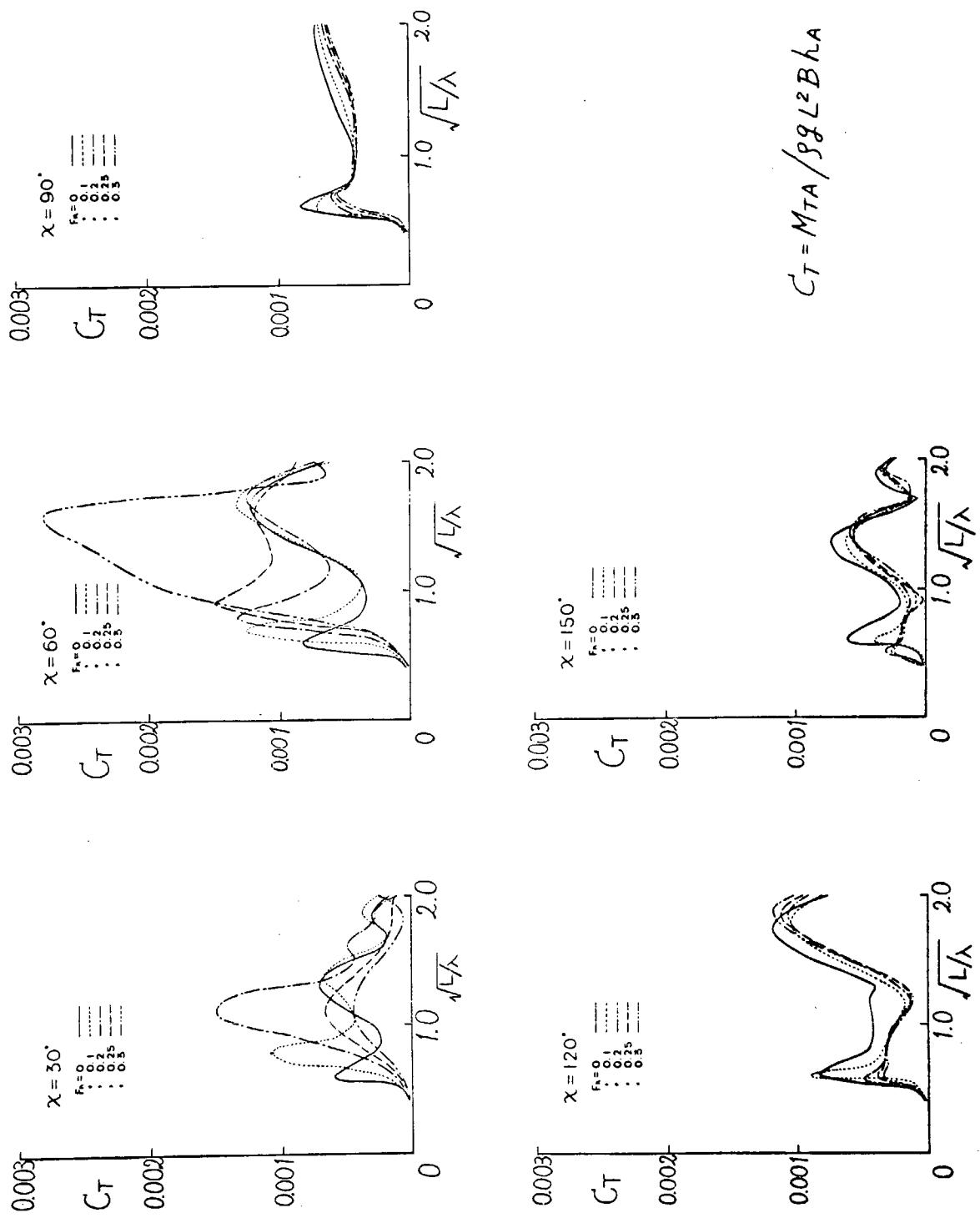


Fig 2.2.11 振りモーメント

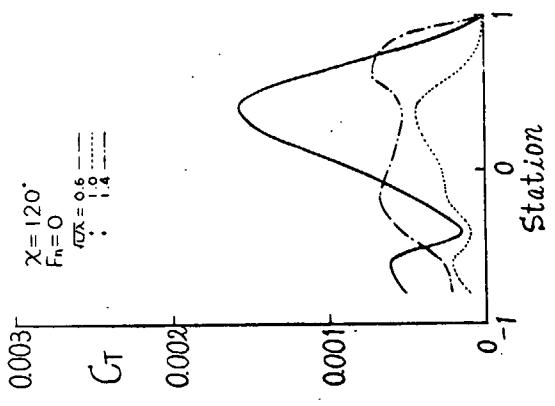
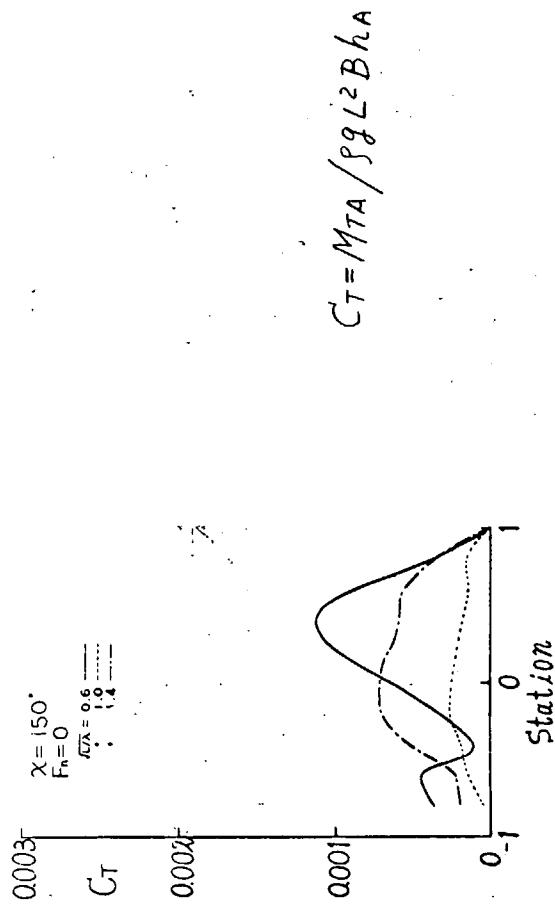
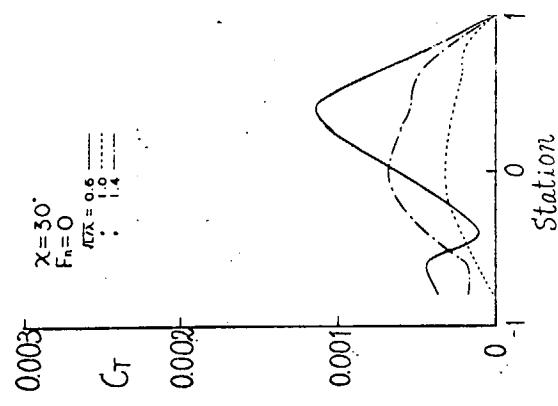
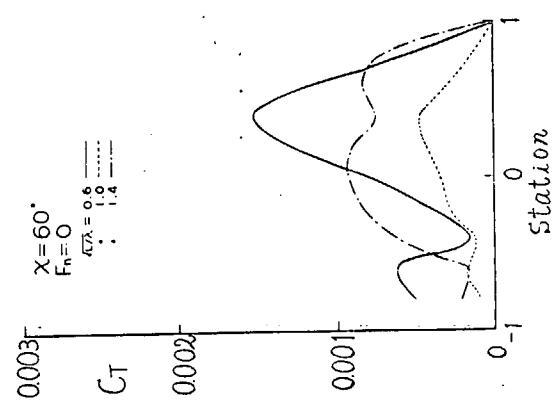
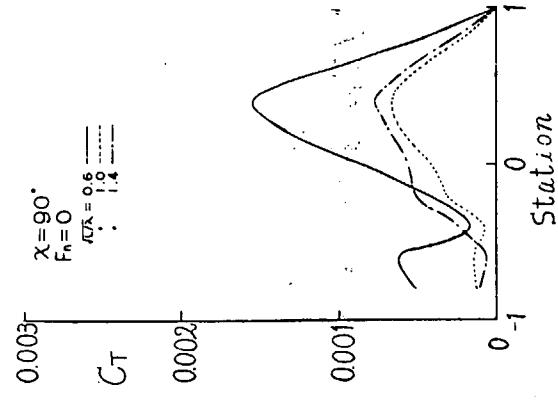


Fig.2.2.12 振りモーメント

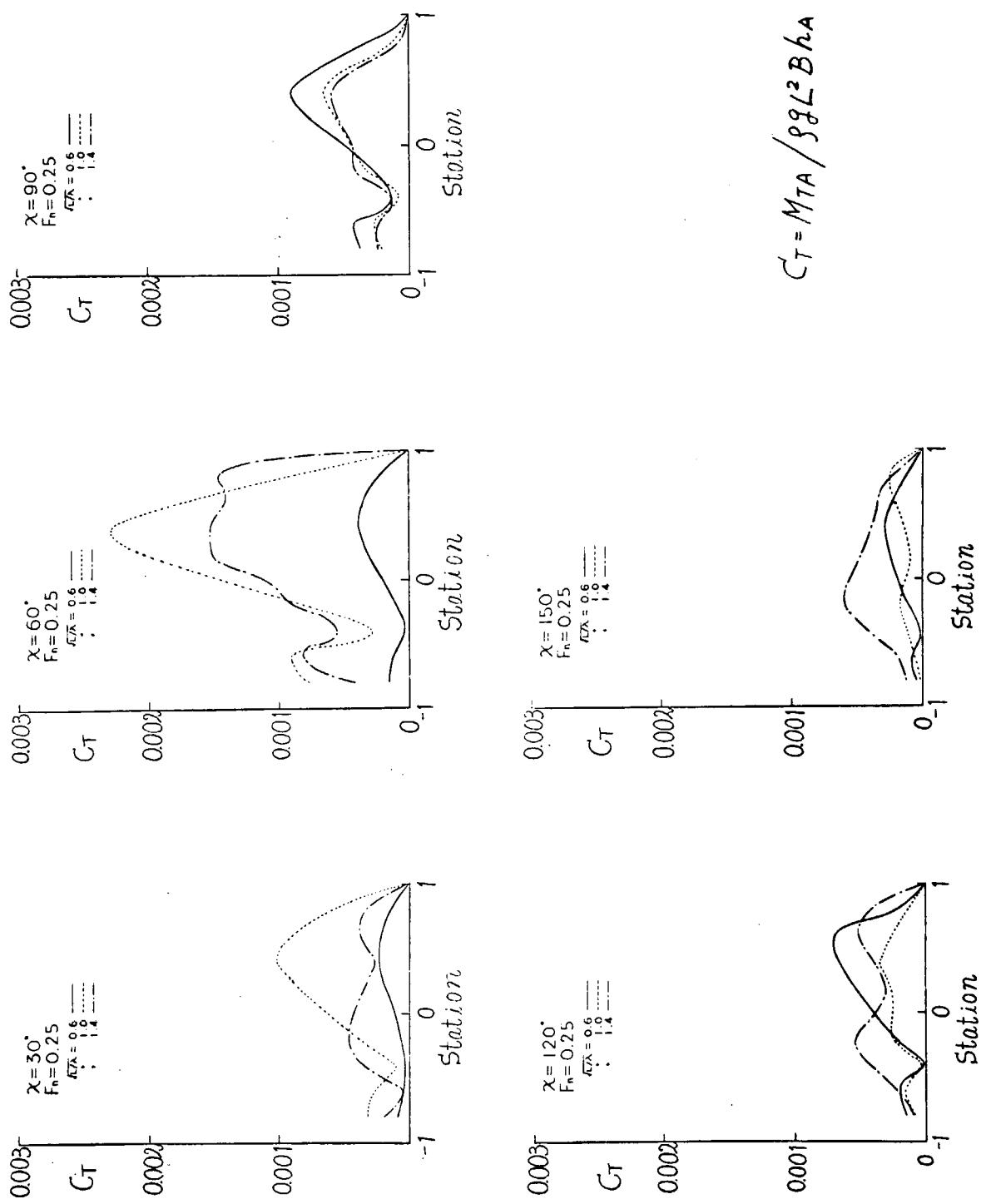


Fig. 2.2.13 振り τ - メント

2.3 耐航性能要素の短期分布と長期分布

耐航性能の短期分布とは、波スペクトルが一定の海面を、船速、波との出会い角を一定に保ちながら航走するとしたときの、その耐航性要素の分布のことであり、通常、耐航性要素の極値がレーレー分布に従うとして、その標準偏差を用いて表わす。ここでは、波スペクトルとしては、I.S.S.C. スペクトルを用い、標準偏差は、波のエネルギーが波の主方向に対し \cos^2 分布をしている、いわゆる短波頂不規則波に対して求めた。

長期分布とは、そのような短期分布をもたらす海象に、長期的にどのような割合で出会うかということを考慮した場合の分布であり、通常、耐航性要素がある値を超える確率を用いて表わす。海象の長期の発現確率としては北大西洋での Walden の資料をまとめた福田¹⁾ の表を用い、計算も福田²⁾ に従つた。

2.3.1 横方向波浪荷重の短期分布と長期分布

横方向波浪荷重の応答関数を無次元化して 2.2 に示したが、それと I.S.S.C. スペクトルを用いて求めた横剪断力の標準偏差 R_{FS} 、横曲げモーメントの標準偏差 R_{ML} 、振りモーメントの標準偏差 R_{MT} 、ならびにそれぞれの超過確率 Q を Fig. 2.3.1-1 ~ 2.3.1-6 に示す。力は $\rho g LB$ 、モーメントは $\rho g L^2 B$ で除しているので無次元値にはなっていない。各ビューフォートスケールに対応する波高、波周期などは高石³⁾ 等に従い、Table 2.3.1-1 のものを用いた。

Table 2.3.1-1

Beaufort	6	7	8	9	10
U (m/sec)	12.4	15.5	18.9	22.6	26.4
Tv (sec)	7.6	8.9	10.3	11.7	13.1
Hv (m)	3.9	5.3	7.1	9.2	11.5

横剪断力の標準偏差はビューフォートと共にやや増すが、その増え方は、波高の増え方にくらべると大変少ない。これは、波高が大なるときは波周期も大きいという Table 2.3.1-1 の値を用いているので、大波高のときは波スペクトルのピークと応答関数のピークがずれてしまうということが原因である。 $\chi = 60^\circ$ の斜め追い波で値が大きく、 F_n が 0 にくらべ 0.25 のときの方が全体に値が大きい。長期分布で All Headings とあるのは、長期間を平均すれば、船と波との出会い角の分布は一様であるとの仮定にもとづいて計算したものである。これらの値は SR90⁴⁾ で計算された縦剪断力の値と同じオーダーである。

横曲げモーメントの標準偏差も、横剪断力と同じ理由で、ビューフォートに対する増加率が少ない。 $\chi = 60^\circ, 120^\circ$ の値が大きく、船速の影響が少ないので応答関数の傾向と同じである。これらの値も、SR90 で計算された縦曲げモーメントの値と同じオーダーである。

振りモーメントの標準偏差は $F_n = 0.25, \chi = 60^\circ$ のときに大きな値となつていて、長期分布は All Headings についてみると、 $F_n = 0.25$ の場合の方がやや高くなっている。

参考文献

- 1) 福田淳一： “波浪中の船の Deck Wetness に関する長期予測”、日本造船学会論文集、第 124 号、1968
- 2) 福田淳一： “波浪荷重の長期分布推定法”、造船協会誌、448 号、1966
- 3) 日本造船研究協会第 108 研究部会、研究資料第 125、昭和 46 年
- 4) 日本造船研究協会報告、第 69 号、昭和 45 年 9 月

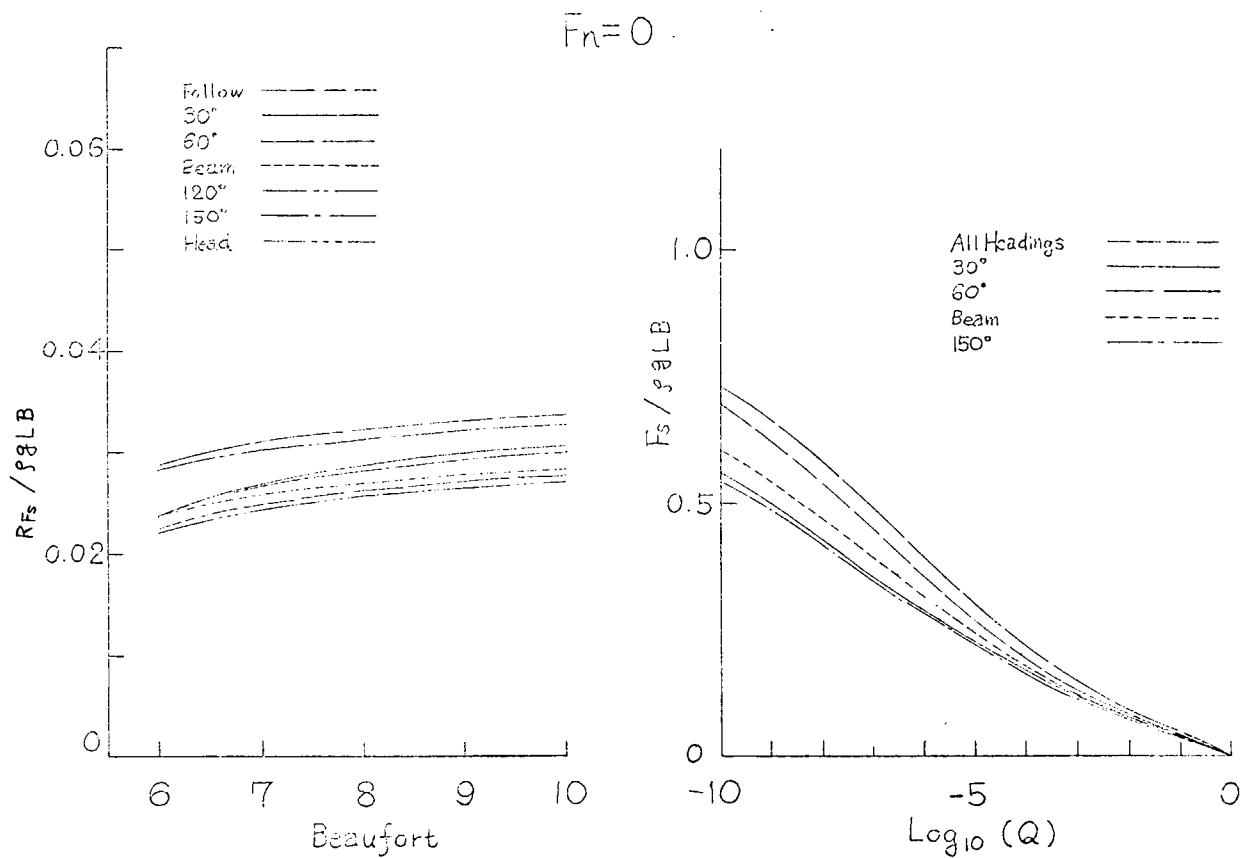


Fig 2.3.1 - 1 横剪断力 (船体中央)

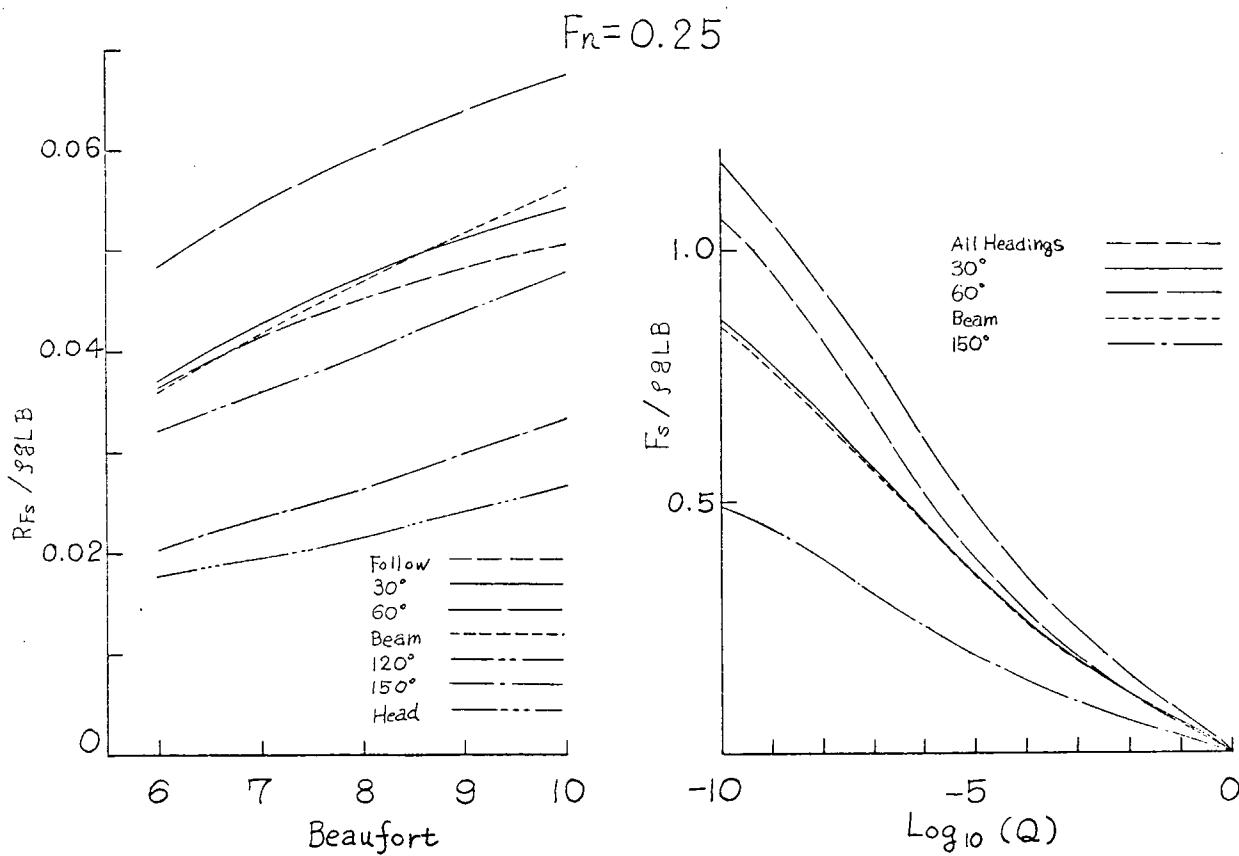


Fig 2.3.1 - 2 横剪断力 (船体中央)

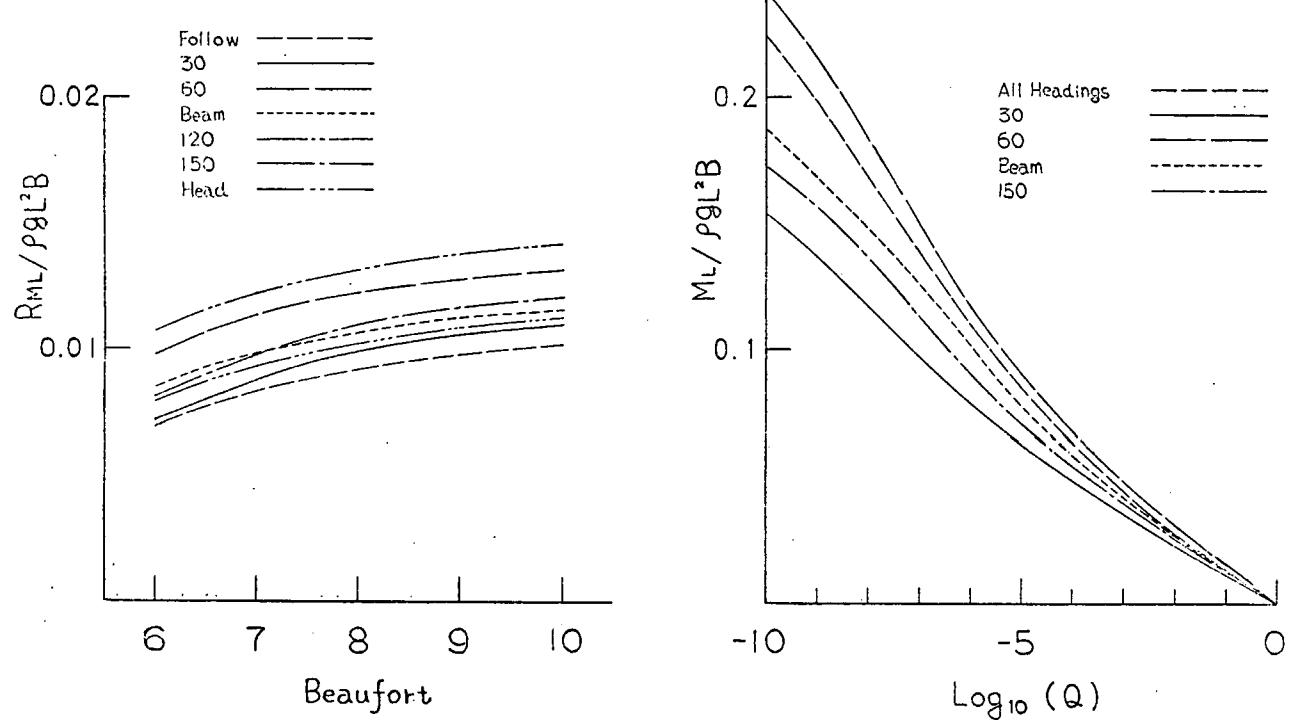
$F_n = 0$ 

Fig 2.3.1-3 横曲げモーメント(船体中央)

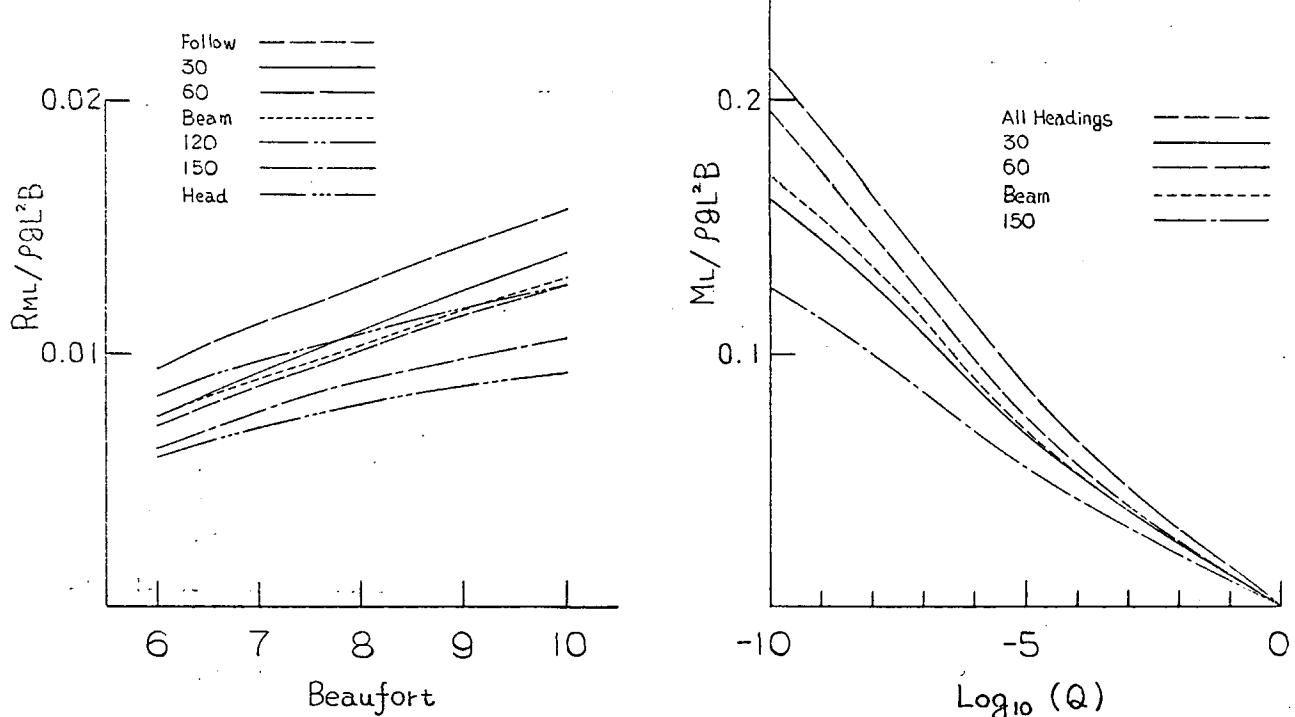
 $F_n = 0.25$ 

Fig 2.3.1-4 横曲げモーメント(船体中央)

$F_n=0$

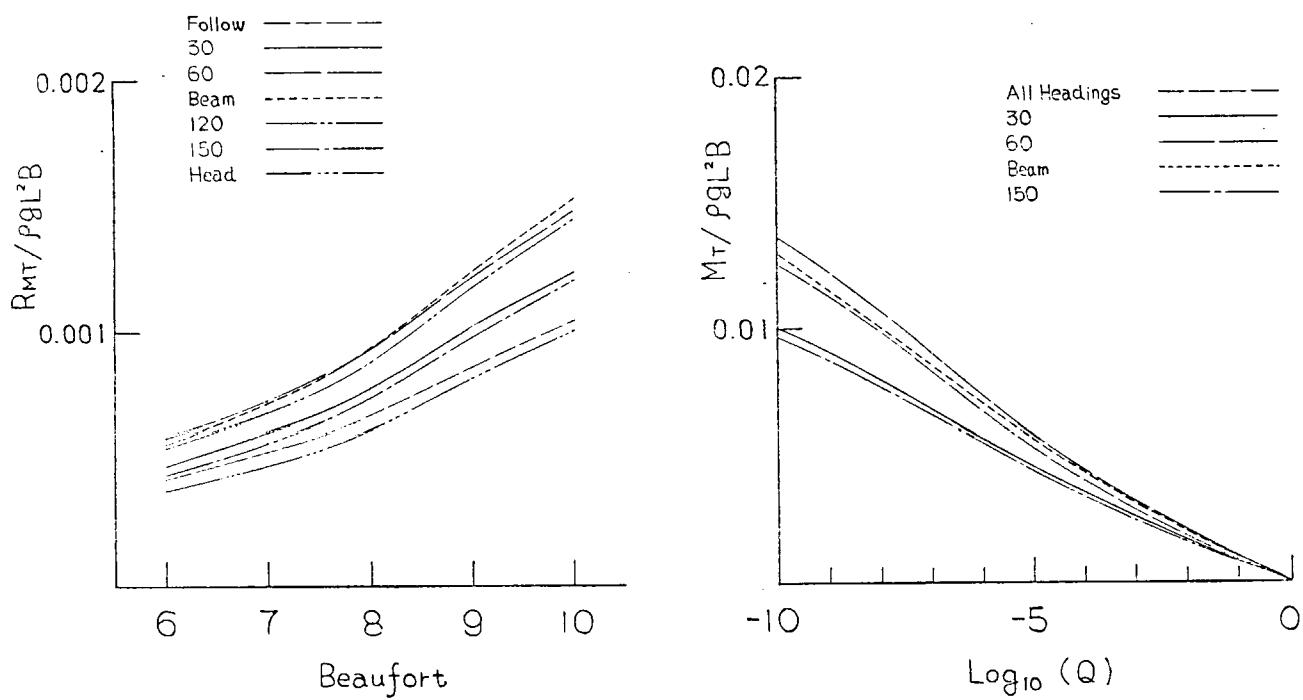


Fig 2.3.1-5 振りモーメント(船体中央、重心回り)

$F_n=0.25$

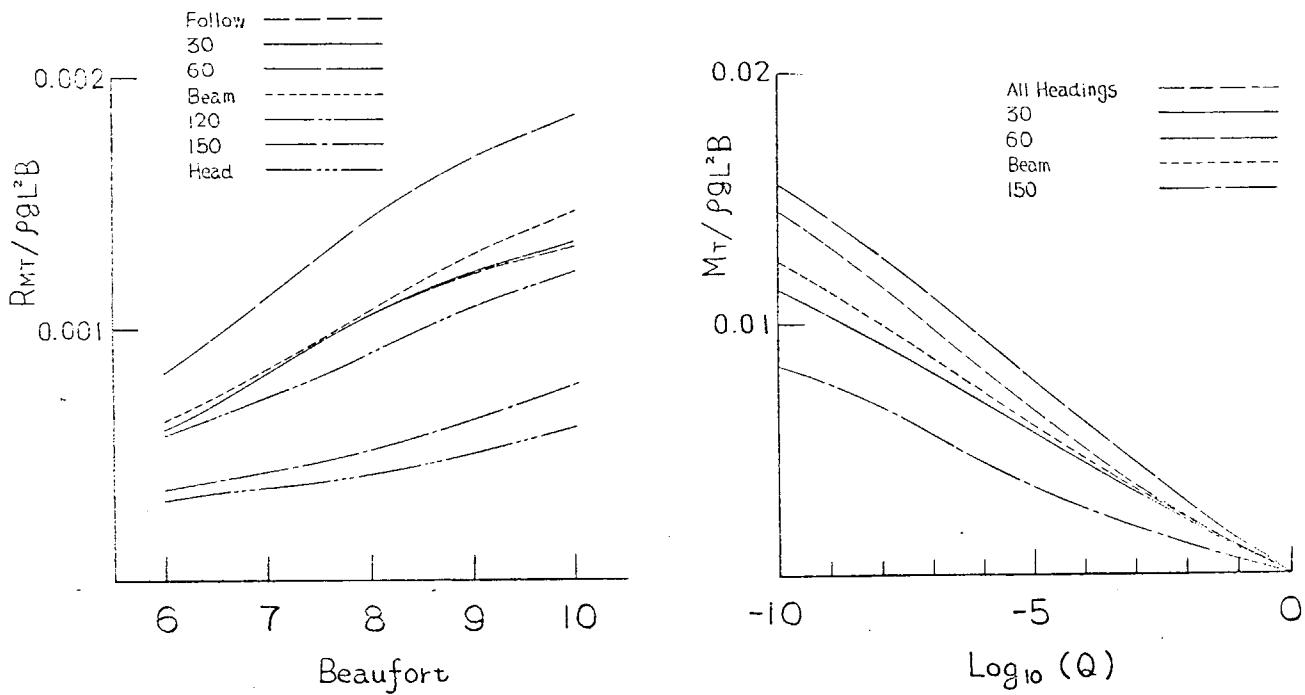


Fig 2.3.1-6 振りモーメント(船体中央、重心回り)

2.3.2 縦方向波浪荷重の短期分布と長期分布

船体中央における縦剪断力と縦曲げモーメントについても、横方向波浪荷重と同じく、本報告の船研の模型実験と同じ状態について計算し、短期分布、長期分布を求めた。結果を Fig. 2.3.2-1 ~ 2.3.2-4 に示す。

従来、SR90 などで行なわれた計算結果とくらべて特に変つた点はなく、 $F_n=0$ の縦剪断力以外は head sea で大きな値となつていて。

$$F_n = 0$$

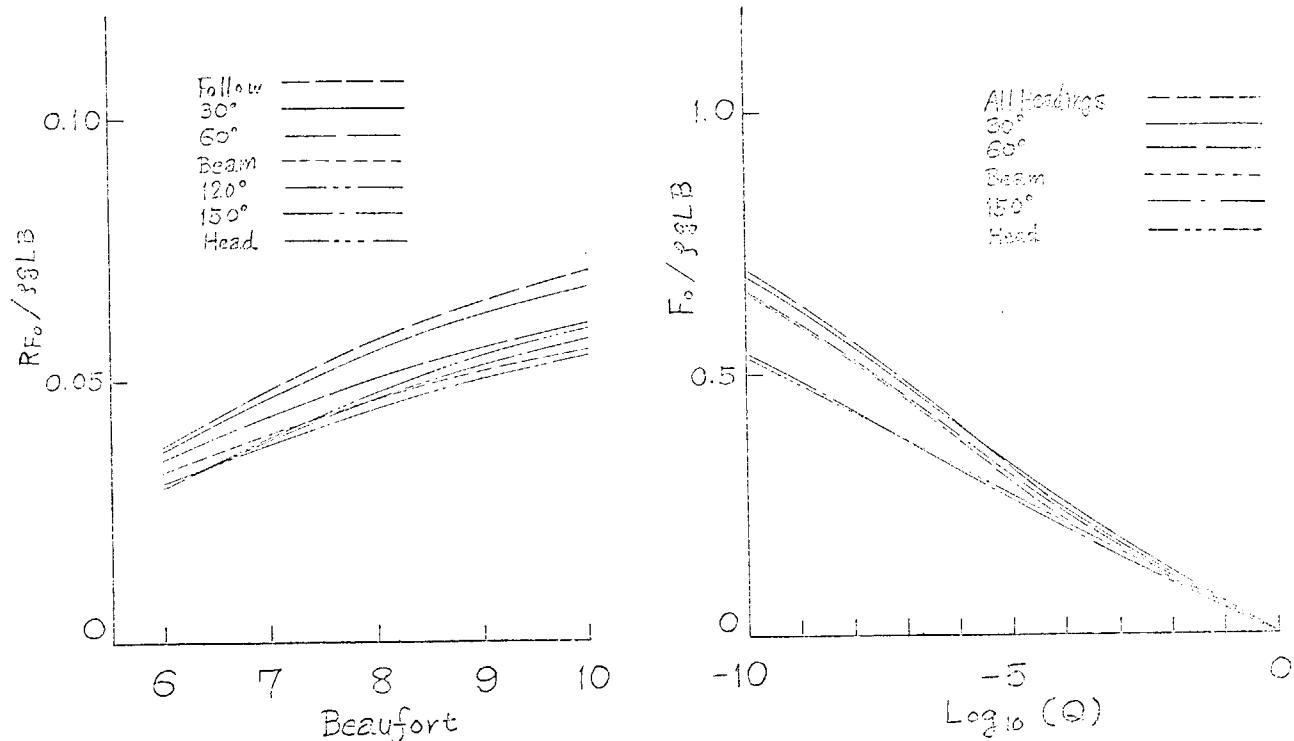


Fig. 2.3.2-1 縦剪断力(船体中央)

$$F_n = 0.25$$

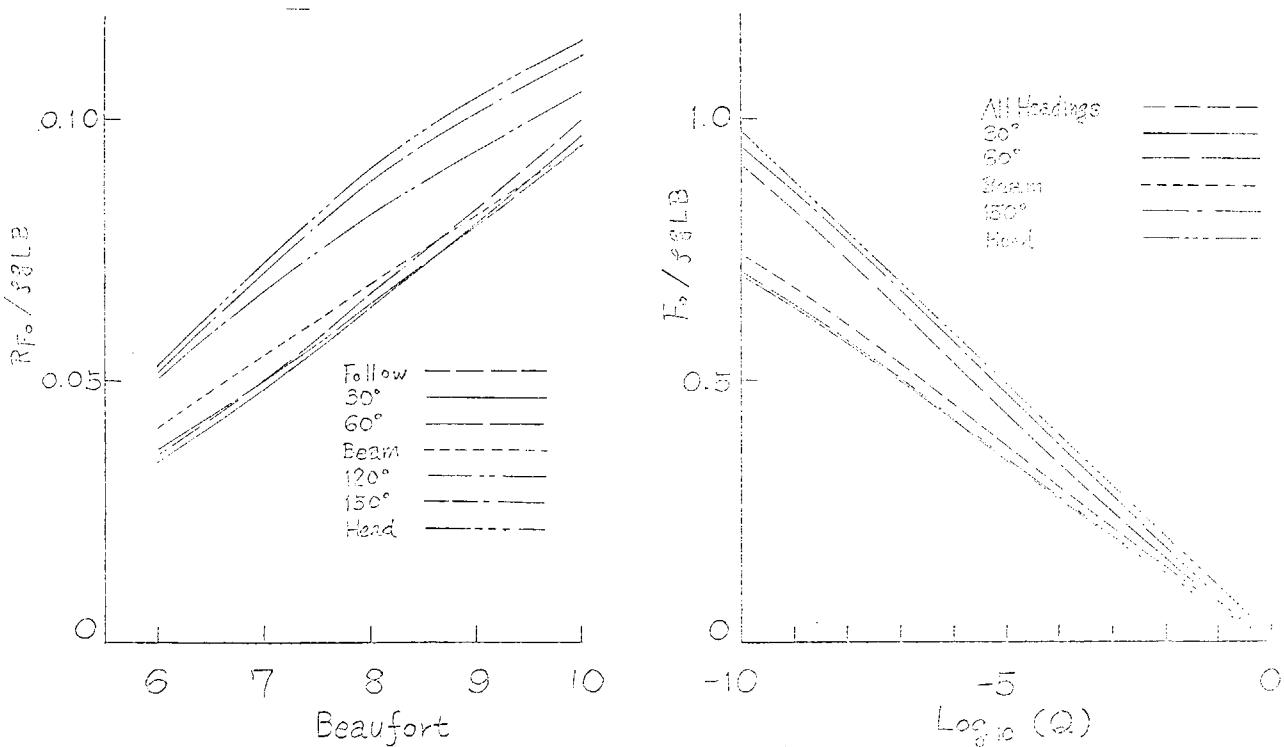


Fig. 2.3.2-2 縦剪断力(船体中央)

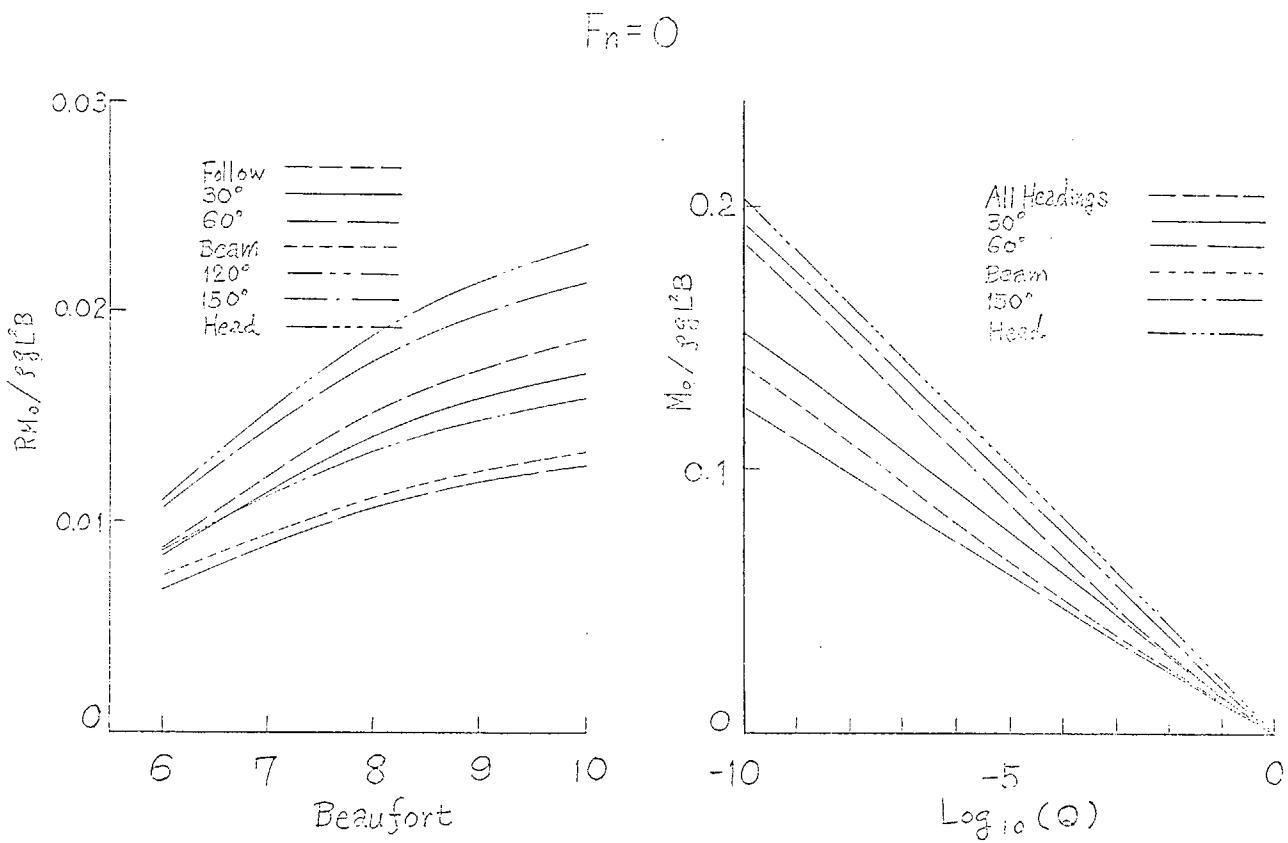


Fig 2.3.2-3 縦曲げモーメント(船体中央)

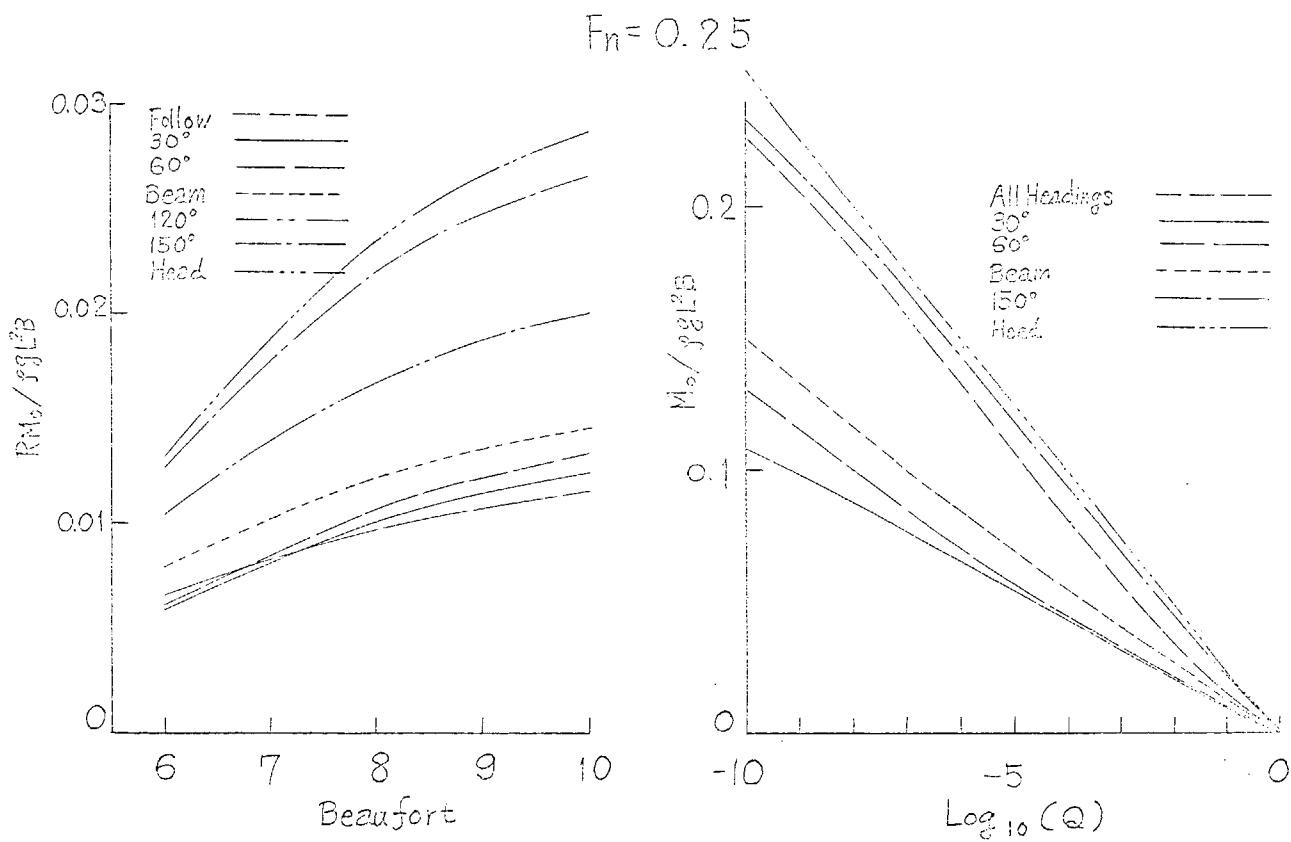


Fig 2.3.2-4 縦曲げモーメント(船体中央)

2.3.3 北太平洋における船体応答の長期分布

(1) 緒 言

船体応答の長期分布は、短期不規則海面における応答と、就航海域の波浪長期資料が与えられれば求めることができます。¹⁾ 波浪の長期資料については、Waldenによる北大西洋に関する資料と、山内等²⁾による北太平洋に関する資料がある。山内等の波浪資料は、北太平洋（0°N～55°N, 110°E～130°W）を54の海域に区分し、「波向と波高」、「波向と波周期」の関係が各海域ごとに示されている。そこで、波浪資料の地域的特徴や、船の針路と波向の相対的関係が長期分布に及ぼす影響を検討した。

(2) 計 算 式

計算式は以下に示すいくつかの仮定を設けて文献1)に基づく方法により求めた。

Waldenによる波浪資料はその長期発現確率を全海域に対し、平均波周期Tと波高Hの関数として表わしている。（Table 2.3.3.2）しかるに、山内等は前述のごとく小海域（Z）ごとにそれぞれ「波高Hと波向μ」、「波周期Tと波向μ」の関数として長期発現確率P₁（H, μ, Z）P₂（T, μ, Z）を与えており、その一例をTable 2.3.3.5およびTable 2.3.3.6に示す。そこで、波高Hと波周期Tの発現が互いに独立であると考え、各海域ごとに

$$P(H, T, \mu, Z) = P_1(H, \mu, Z) \times P_2(T, \mu, Z) \quad (2.3.3.1)$$

が成り立つと仮定する。すなわち、波浪の長期発現確率Pは波高H、平均波周期T、波向μ、海域Zの関数と考える。

Table 2.3.3.5およびTable 2.3.3.6を用いた波浪の長期発現確率の結果をTable 2.3.3.9に示す。

次に、船の針路μについても各海域ごとに変化させる。実際には、船の針路も船種、就航海域によりその確率分布についてなんらかの特徴があると考えられるが、ここでは簡単のため、海域の中心と目的港を結ぶ方向に対して($\cos^4\psi$)分布した場合について考える。（Fig. 2.3.3.2）ここで、船速Vは一定とする。また、目的港としてはロサンゼルス(往航)または東京(復航)とし、針路はメルカトール海域図から求める。

まず、船が波との出会い角χを一定に保つて航海している場合、（Fig. 2.3.3.1）船体応答の変位があるx₁を越える長期の累積確率は次式によつて与えられる。

$$Qx_1(\chi, V, Z) = \int_0^\infty \int_0^\infty e^{-\frac{x_1^2}{2[R(\chi, T, V)]^2}} \{ P(H, T, \mu, Z) dH dT \} \quad (2.3.3.2)$$

さらに、全海域についてすべての出会い角を考慮した場合の長期の累積確率は

$$Qx_1(V) = \sum_Z P_Z \int_0^\pi P_1^*(\psi) d\psi \int_0^{2\pi} Qx_1(\chi, V, Z) P^*(\chi, Z) d\chi \quad (2.3.3.3)$$

ここで、R(χ, T, V)：船体応答の短期パラメータ（標準偏差）

P_Z：船が海域Zを通過する长期の確率

P^{*}(χ, Z)：各海域で出会い角がχとなる长期の確率密度

P^{*}(ψ)：船の針路が($\cos^4\psi$)分布したときの確率密度

海域MO5(Fig. 2.3.3.3)に対するP_Z, P^{*}(ψ)の一例をTable 2.3.3.7およびTable 2.3.3.8に示す。

ここでいう操船とはある船体応答の短期パラメータ（例えば船首垂直加速度）を判定基準にして船が変針、減速をすると考え、式(2.3.3.2)の積分を操作することを意味する。

今、海域Zにおいて船は針路ψ、船速Vで航走しており、波の方向がμなる状態を考える。この場合、各(H, T)の組合せに対してそれぞれ異なる発現確率を持つ波浪が存在する。一方、海象(H, T, μ)と船の状態(ψ, V)が与えられると、船首垂直加速度の有義値Jは次式で求まる。

$$J = 2R_V(\chi, T, V) \times H \quad (2.3.3.4)$$

ただし、 $R_v(x, T, v)$ ：船首垂直加速度の標準偏差

$$x = \mu - \psi$$

そこで、 $J \geq C$ （限界値）となる (H, T) の波に対して、船が ψ から ψ' に変針する場合と v から v' に減速する場合を考える。変針に対しては式 (2.3.3.2) において $R(x, T, v)$ に $R(x', T, v)$ を用い、減速時は $R(x, T, v')$ を用いる。また、変針は 30° 間隔に左右 60° を限度とし、減速は $v = 20$ ノット ($F_n = 0.25$) から約 4 ノット間隔に、1.2 ノットまで変化できるとする。

(3) 計算状態

計算に用いた船型は 1 軸高速コンテナ船でその要目を Table 2.3.3.1 に示す。船体応答としては縦揺、横揺および船首部垂直加速度を考えた。波浪資料は Fig. 2.3.3.3 に示す 32 海域に対する 1 月期のものを用いた。また、船の針路は東京 → ロサンゼルス間の往航について計算した。

(4) 計算結果および考察

- (a) 船首垂直加速度の短期パラメータを判定基準 ($C = 0.5 g$: 片振幅) にして操船する場合の長期分布を求め、操船を考慮しない場合 (Table 2.3.3.3) と比較した。計算結果は Fig. 2.3.3.4 に示すように船体応答（船首垂直加速度、縦揺および横揺）の期待値を $10 \log Q$ の関数として示している。これらの図から、長期の累積確率 $| \log 10 Q |$ の大きい所では操船の影響が見られ、北太西洋 (Walden) における長期分布とはかなり相違している。
- (b) 本計算法では式 (2.3.3.2) より各海域ごとに船体応答の長期分布が得られる。Fig. 2.3.3.5 は長期の累積確率を一定 ($Q = 10^{-7}$) とした場合、船体応答の期待値を経度方向に示したものである。パラメータとして $30^\circ \sim 35^\circ N$, $35^\circ \sim 40^\circ N$, $40^\circ \sim 45^\circ N$, $45^\circ \sim 50^\circ N$ 間の海域をとっている。さらに、これらの海域での期待値を全域にわたって積分した場合の期待値、および操船しない場合の値も同図に示した。

Fig. 2.3.3.6 は同じく $Q = 10^{-7}$ とした場合の船体応答の期待値の経度方向分布を海域別に与えている。

(5) 結 言

(4) 節に示したごとく操船を考慮した長期分布とそうでない場合とを比較すると長期の累積確率の大きい所でかなりの差がみられた。しかし、ここで用いた波浪資料は 1 月期のものだけであり、計算に用いた P_z （船が海域 z を通る長期の確率）がコンテナ船の就航実績と比較して妥当なものかどうか今後検討しなければならない。

さらに 1) 操船法に対する検討 2) 船体応答の短期パラメータに対する波高の非線型等を考慮した長期分布についても計算したいと考えている。

参考文献

- 1) 福田淳一：“船体応答の統計的予測”日本造船学会耐航性に関するシンポジウム，昭44.7
- 2) 山内保文他：“Statistical Diagrams on the Winds and Waves on the North Pacific Ocean”
Table 2.3.3.1 Principal dimensions of ship

Length between p.p.	L (m)	175.00
Breadth (moulded)	B (m)	25.40
Depth (moulded)	D (m)	15.40
Draught fore	d_f (m)	8.00
aft	d_a (m)	9.00
mean	d_m (m)	8.50
Length/Breadth	L/B	6.89
Breadth/Draught	B/d_m	2.99
Volume of displacement	∇ (m^3)	21,222
Block coefficient	C_B	0.5590

Table 2.3.3.2 Wave frequency in the North Atlantic, Winter

		Wave Period (sec)							Sum over All Periods	
		5	7	9	11	13	15	17		
Wave Height (m)	0.75	6.00	4.03	2.10	0.99	0.21	0.14	0.18	13.65	
	1.75	29.50	79.77	41.40	13.06	2.63	0.18	0.09	166.84	
	2.75	16.84	108.86	108.02	37.87	5.36	0.77	0.05	278.29	
	3.75	3.30	57.77	114.74	45.03	7.50	0.91	0.13	229.72	
	4.75	0.79	24.20	64.76	36.45	9.26	1.93	0.18	137.80	
	5.75	0.21	6.32	26.31	22.46	6.05	1.07	0.18	62.64	
	6.75	0.11	5.34	15.53	16.80	6.23	1.29	0.05	45.42	
	7.75	0.07	2.47	6.86	10.94	3.80	0.84	0.09	25.11	
	8.75	0.02	2.67	4.35	7.86	4.12	1.33	0.02	20.41	
	9.75		1.61	2.44	5.34	3.78	1.79	0.61	15.71	
	10.75			0.20	0.23	0.36	0.16	0.09	1.04	
	11.75			0.02	0.13	0.07	0.43	0.18	0.83	
	12.75				0.11	0.39	0.57	0.29	1.36	
	13.75					0.07	0.23	0.18	0.60	
	14.75					0.07	0.05	0.16	0.48	
	15.75						0.05		0.10	
Sum over All Heights		56.84	293.31	386.84	197.82	50.64	11.03	1.57	1.95	1000.00

Table 2.3.3.3 Wave frequency in the North Pacific, Winter

Winter

		Wave Period (sec)							Sum over All Periods
		5	7	9	11	13	15	17	
Wave Height (m)	1.25	140.9	60.6	13.4	5.3	2.1	0.1	10.2	232.6
	2.75	58.6	177.1	177.9	77.3	17.3	1.9	2.3	512.4
	4.25	6.1	19.0	42.3	51.4	42.0	19.6	3.2	183.6
	5.75	0.7	2.4	5.5	7.7	6.3	3.1	2.9	28.5
	7.75	0.2	1.3	3.3	3.4	6.2	5.6	2.0	22.0
	10.00		0.7	1.0	1.1	2.8	3.2	2.8	11.6
Sum over All Heights		206.5	261.1	243.4	146.2	76.7	33.5	23.4	Calm (9.2) 1000.0

Table 2.3.3.4 Sea zones in the North Pacific

No.	Sea zone	Longitude	Latitude
1	E 03	40°N - 45°N	140°E - 145°E
2	E 04	40 N - 45 N	145 E - 150 E
3	E 05	35 N - 40 N	140 E - 145 E
4	E 06	35 N - 40 N	145 E - 150 E
5	E 09	30 N - 35 N	135 E - 140 E
6	E 10	30 N - 35 N	140 E - 145 E
7	E 11	30 N - 35 N	145 E - 150 E
8	E 13	25 N - 30 N	130 E - 140 E
9	E 14	25 N - 30 N	140 E - 150 E
10	M 03	45 N - 50 N	150 E - 160 E
11	M 04	45 N - 50 N	160 E - 170 E
12	M 05	45 N - 50 N	170 E - 160 W
13	M 06	40 N - 45 N	150 E - 160 E
14	M 07	40 N - 45 N	160 E - 170 E
15	M 08	40 N - 45 N	170 E - 160 W
16	M 09	35 N - 40 N	150 E - 160 E
17	M 10	35 N - 40 N	160 E - 170 E
18	M 11	35 N - 40 N	170 E - 160 W
19	M 12	30 N - 35 N	150 E - 160 E
20	M 13	30 N - 35 N	160 E - 170 E
21	M 14	30 N - 35 N	170 E - 160 W
22	M 15	25 N - 30 N	150 E - 160 E
23	M 16	25 N - 30 N	160 E - 170 E
24	M 17	25 N - 30 N	170 E - 160 W
25	W 02	45 N - 50 N	139 W - 160 W
26	W 03	45 N - 50 N	125 W - 139 W
27	W 04	40 N - 45 N	143 W - 160 W
28	W 05	40 N - 45 N	125 W - 143 W
29	W 06	35 N - 40 N	148 W - 160 W
30	W 07	35 N - 40 N	125 W - 148 W
31	W 08	30 N - 35 N	125 W - 160 W
32	W 09	20 N - 30 N	125 W - 160 W

Table 2.3.3.5 Wave frequency expressed by $P_1(H, \mu, z)$ in a sea zone

Wave direction vs. Wave height

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

		Wave height H (m)							Total
		0.75	1.75	2.75	3.75	5.75	7.75	Calm	
μ	1 (N)	13	35	37	11	9	2		107
	2	14	36	37	23	8	6		124
	3	9	53	48	15	33	8		166
	4 (E)	15	54	43	5	6	6		129
	5	21	59	53	20	30	2		185
	6	17	36	43	23	5			124
	7 (S)	23	44	27	13	3			110
	8	21	30	19	7	3			80
	9	25	28	33	9	6	1		102
	10 (W)	13	47	45	18	12			135
	11	19	47	43	2	2			113
	12	4	34	30	5	2			75
Calm								16	16
Total		194	503	458	151	119	25		1466

Table 2.3.3.6 Wave frequency expressed by $P_2(T, \mu, z)$ in a sea zone

Wave direction vs. Wave period

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

		Wave period T (sec)							Total
		5	7	9	11	13	15	Calm	
μ	1 (N)	15	49	21	9	4	1	8	107
	2	14	42	26	30	3		9	124
	3	27	52	55	20	4	2	6	166
	4 (E)	25	43	36	12	4		9	129
	5	27	57	35	31	9	9	17	185
	6	19	24	38	15	11	4	13	124
	7 (S)	21	33	14	17	4	1	20	110
	8	17	20	15	10	4	1	13	88
	9	14	22	19	20	11		16	102
	10 (W)	27	27	33	20	17	3	8	135
	11	24	32	24	20	4		9	113
	12	8	35	13	12	4		3	75
Calm								16	16
Total		238	436	329	216	79	21	131	1466

Table 2.3.3.7 Probability density of ships number passing through a sea zone

Sea zone	Probability density	Sea zone	Probability density
E 03	0.003	M 10	0.022
E 04	0.010	M 11	0.030
E 05	0.016	M 12	0.058
E 06	0.029	M 13	0.053
E 09	0.023	M 14	0.058
E 10	0.020	M 15	0.012
E 11	0.027	M 16	0.017
E 13	0.114	M 17	0.025
E 14	0.010	W 02	0.037
M 03	0.012	W 03	0.009
M 04	0.042	W 04	0.010
M 05	0.112	W 05	0.013
M 06	0.063	W 06	0.008
M 07	0.042	W 07	0.021
M 08	0.029	W 08	0.029
M 09	0.035	W 09	0.010

Table 2.3.3.8 Probability density of occurrence of encounter angle χ between ship course and wave direction

Heading angle (starboard)	Probability density	Heading angle (port)	Probability density
180 (head)	0.128		
150	0.086	150	0.089
120	0.076	120	0.114
90 (beam)	0.055	90 (beam)	0.086
60	0.070	60	0.074
30	0.093	30	0.052
0 (follow)	0.078		

Table 2.3.9 A example of wave frequency in a sea zone derived from formula (2.3.31)

(101)

Wave height m.	Wave period s.	Sea zone	W 05 (45 N - 50 N)	Wave direction 1 (N)	
				5	7
0.75	12.0	S	55.6	25.1	44.4
1.25	45.9	E	119.8	64.4	57.2
2.25	42.5	N	153.4	70.1	3.1
3.75	1.4	NE	47.1	20.0	0.0
5.25	11.8	SE	38.5	26.7	0.0
7.75	2.6	S	3.6	3.1	0.0
	0.0	Calm	0.0	0.0	0.0
Sum over all heights			140.2	458.0	195.1

Wave height vs. Wave period

(七〇三)

Wave height vs. Wave period

Sea zone M05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)
 Wave direction 4 (E)

		Wave period T (sec)						Sum over all periods
		5	7	9	11	13	15	
0.75	22.5	3.5 .8	32.4	10.8	3.6	0.0	8.1	116.2
(-)	81.1	139.5	116.8	38.9	13.1	0.0	29.2	418.6
1.75	64.6	111.2	93.0	31.0	10.3	0.0	23.3	333.2
2.75	7.5	12.9	10.9	3.6	1.2	0.0	2.7	36.8
3.75	9.0	15.5	13.0	4.4	1.4	0.0	3.2	46.5
5.75	9.0	15.5	13.0	4.3	1.4	0.0	3.3	46.5
7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Calm								
Sum over all heights	193.7	333.4	279.1	93.0	31.0	0.0	69.8	1000.0

(704)

Wave height vs. Wave period
Sea zone W 05 (45 N - 50 N . 120 E - 160 W) . January (1954 - 1961)

Wave direction	Wave period T (sec)						Sum over all periods	
	5	7	9	11	13	15	17	Calm
0-25	8.8	12.0	18.0	6.5	1.3	0.7	2.0	54.3
1.25	51.9	100.0	105.8	38.5	7.7	3.8	11.5	319.2
2.25	47.0	50.5	55.8	34.6	7.0	3.5	10.5	259.1
3.25	14.7	28.7	23.9	10.9	2.2	1.0	3.3	90.3
4.25	42.3	63.3	65.9	24.0	4.8	2.4	7.2	198.9
5.25	7.8	15.1	16.0	5.8	1.2	0.6	1.7	48.2
6.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Calm								
Sum over all heights	162.5	313.2	331.4	120.5	24.2	12.1	36.2	1000.0

(ZD 5)

Wave height vs. Wave period

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 5

		Wave period T (sec)						Sum over all periods					
		5	7	9	11	13	15	17	Calm				
(E)	0.75	16.6	35.0	21.5	19.0	5.5	5.5	10.4					
(E)	1.75	46.5	98.3	60.3	53.4	15.5	15.5	29.3					
(E)	2.75	41.8	88.3	54.2	48.0	13.9	13.9	26.3					
(E)	3.75	15.8	33.3	20.5	18.2	5.3	5.3	9.9					
(E)	5.75	23.7	50.0	30.7	27.2	7.9	7.9	14.9					
(E)	7.75	1.6	3.3	2.0	1.8	0.5	0.5	1.0					
(E)	Calm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
Sum over all heights		146.0	308.2	189.2	167.6	48.6	48.6	91.8					

(ZD 7)

Wave height vs. Wave period

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 7 (S)

		Wave period T (sec)						Sum over all periods					
		5	7	9	11	13	15	17	Calm				
(E)	0.75	39.9	62.7	26.6	32.3	7.6	1.9	38.0					
(E)	1.75	76.4	120.0	50.9	61.8	14.5	3.6	72.7					
(E)	2.75	46.9	73.6	31.2	38.0	8.9	2.2	44.6					
(E)	3.75	22.6	35.5	15.0	18.3	4.4	1.1	21.5					
(E)	5.75	5.2	8.2	3.5	4.2	1.0	0.2	5.0					
(E)	7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
(E)	Calm												
Sum over all heights		191.0	300.0	127.2	154.6	36.4	9.0	181.8					

(ZD 6)

Wave height vs. Wave period

Sea zone K 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 6

		Wave period T (sec)						Sum over all periods					
		5	7	9	11	13	15	17	Calm				
(E)	0.75	21.0	26.5	42.0	16.6	12.2	4.4	14.4					
(E)	1.75	44.5	56.2	89.0	35.1	25.8	9.4	30.4					
(E)	2.75	53.1	67.1	106.3	41.9	30.8	11.1	36.4					
(E)	3.75	28.4	35.9	56.8	22.4	16.5	6.0	18.4					
(E)	5.75	6.2	7.8	12.4	4.9	3.6	1.3	4.2					
(E)	7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
(E)	Calm												
Sum over all heights		153.2	193.5	306.5	120.9	88.9	32.2	104.8					

(ZD 8)

Wave height vs. Wave period

Sea zone K 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 8

		Wave period T (sec)						Sum over all periods					
		5	7	9	11	13	15	17	Calm				
(E)	0.75	55.8	65.5	49.2	32.8	13.1	3.3	42.7					
(E)	1.75	79.7	93.7	70.3	46.9	18.7	4.7	60.9					
(E)	2.75	50.5	59.4	44.5	29.7	11.9	3.0	38.6					
(E)	3.75	18.6	21.9	16.4	10.9	4.4	1.0	14.2					
(E)	5.75	8.0	9.4	7.0	4.7	1.9	0.5	6.1					
(E)	7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
(E)	Calm												
Sum over all heights		212.6	250.0	187.4	125.0	50.0	12.6	162.5					

(ZO 9)

Wave height vs. Wave period

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 9

		Wave period T (sec)						Wave period T (sec)											
		5	7	9	11	13	15	17	Calm	Sum over all periods	Sum over all periods	5	7	9	11	13	15	17	Calm
(	0.75	33.6	52.9	45.7	48.1	26.4	0.0	38.4	245.1	19.3	19.3	23.5	14.3	22.1	2.1	5.7		96.3
-	1.75	37.7	59.2	51.1	53.8	29.6	0.0	43.1	274.5	69.6	69.6	85.0	51.6	43.8	7.7	20.6		247.9	
)	2.75	44.4	69.8	60.3	63.5	34.9	0.0	50.7	323.6	66.7	66.6	81.5	49.4	42.0	7.4	19.8		333.4	
M	3.75	12.1	19.0	16.4	17.3	9.5	0.0	13.8	88.1	26.6	26.7	32.6	19.8	16.8	3.0	7.9		133.4	
2423124	4.75	8.1	12.7	11.1	11.5	6.3	0.0	9.2	58.9	17.8	17.6	21.7	13.2	11.2	2.0	5.3		89.0	
8.75	1.3	2.1	1.8	1.9	1.2	0.0	1.5	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
WAVE	7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
Calm																			
Sum over all heights	137.2	215.7	186.4	196.1	107.9	0.0	156.7	1000.0		200.0	200.0	244.3	148.3	125.9	22.2	59.3		1000.0	

(ZO 11)

Wave height vs. Wave period

Sea zone M 05 (45 N - 50 N , 170 E - 160 W) , January (1954 - 1963)

Wave direction 11

		Wave period T (sec)						Wave period T (sec)											
		5	7	9	11	13	15	17	Calm	Sum over all periods	Sum over all periods	5	7	9	11	13	15	17	Calm
(	0.75	35.7	47.6	35.7	29.8	6.0	0.0	13.4	168.2	5.7	24.9	9.2	8.5	2.8	0.0	2.1		53.2
-	1.75	88.3	117.8	88.3	73.6	14.7	0.0	33.1	415.8	48.4	211.6	78.6	72.5	24.2	0.0	18.1		453.4	
)	2.75	80.8	107.8	80.8	67.4	13.5	0.0	30.3	380.6	42.7	186.7	69.3	54.0	21.3	0.0	16.0		400.0	
M	3.75	3.8	5.0	3.8	3.1	0.6	0.0	1.4	17.7	7.1	31.1	11.6	10.7	3.6	0.0	2.7		66.8	
2423124	5.75	3.8	5.0	3.8	3.1	0.6	0.0	1.4	17.7	2.8	12.4	4.6	4.3	1.4	0.0	1.1		26.6	
WAVE	7.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
Calm																			
Sum over all heights	212.4	283.2	212.4	177.0	35.4	0.0	79.6	1000.0		186.7	466.7	173.3	160.0	53.3	3.0	40.0		1000.0	

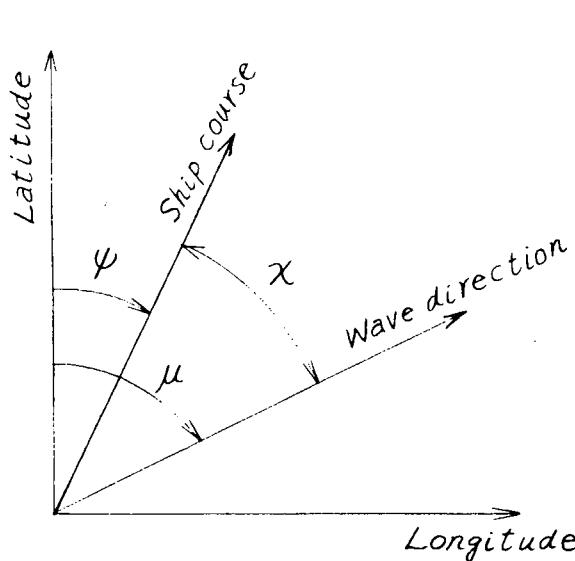


Fig 2.3.3.1 Ship course, encounter angle and wave direction

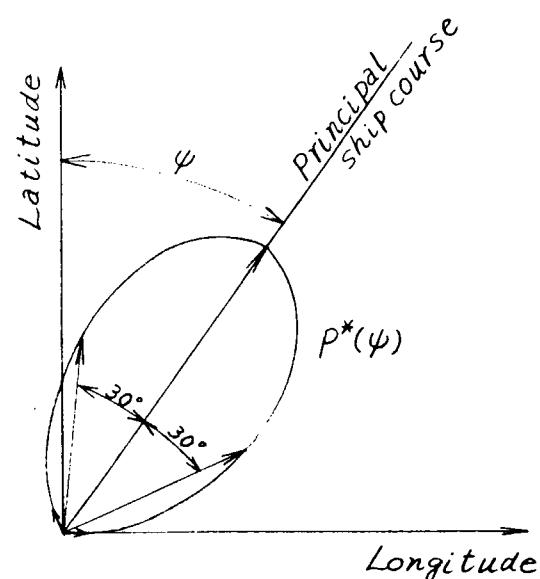


Fig 2.3.3.2 Probability density of ship course in the case of $\cos^4 \psi$ Distribution

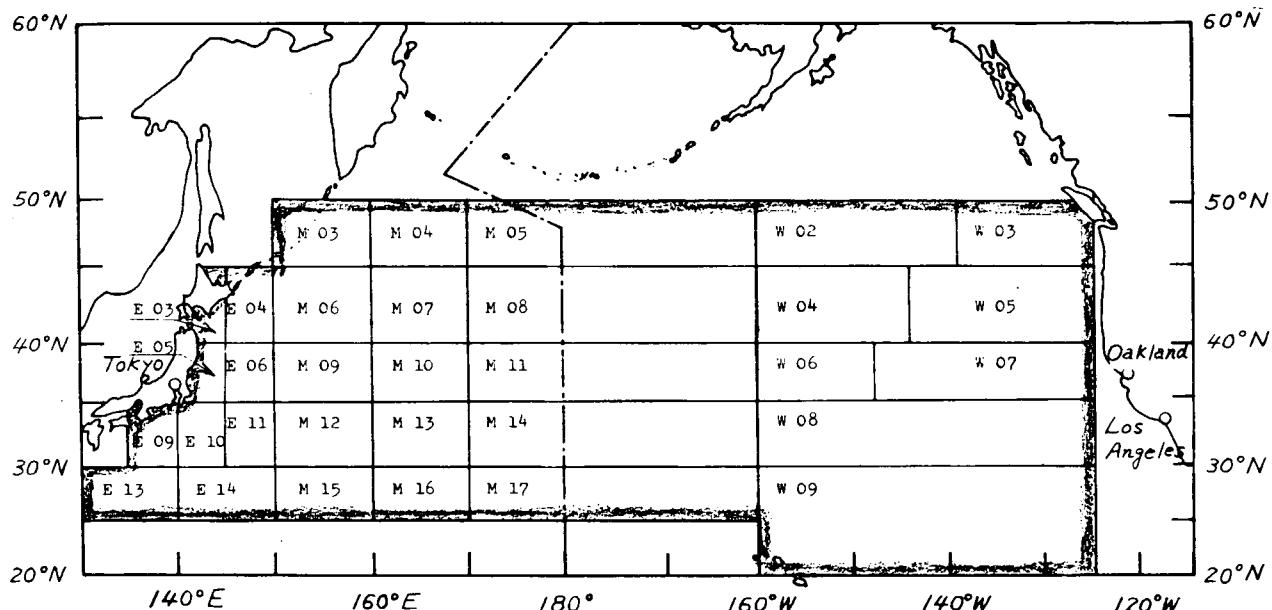
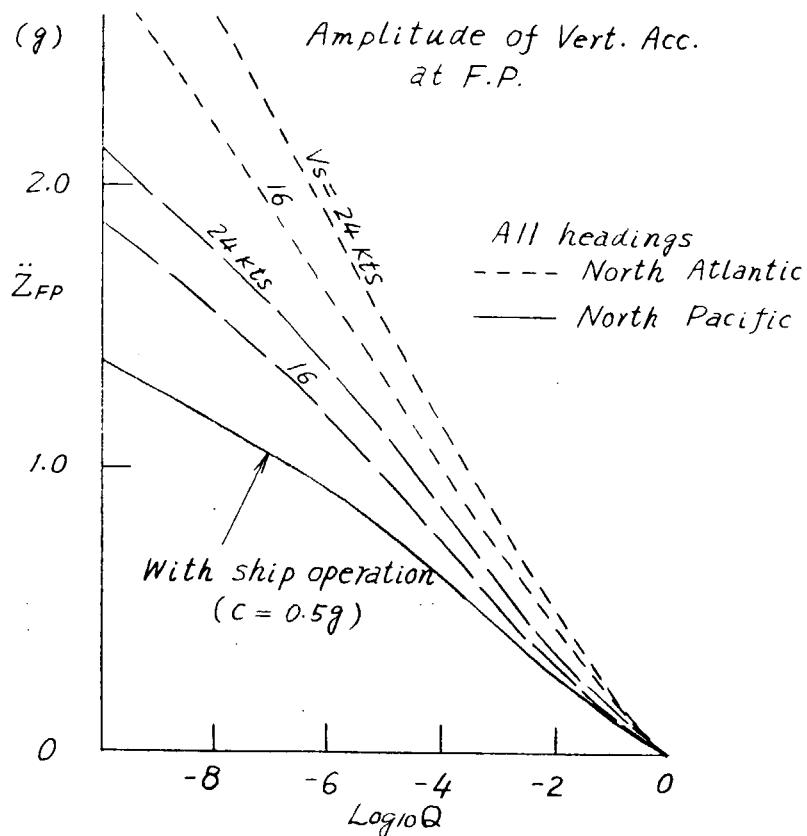
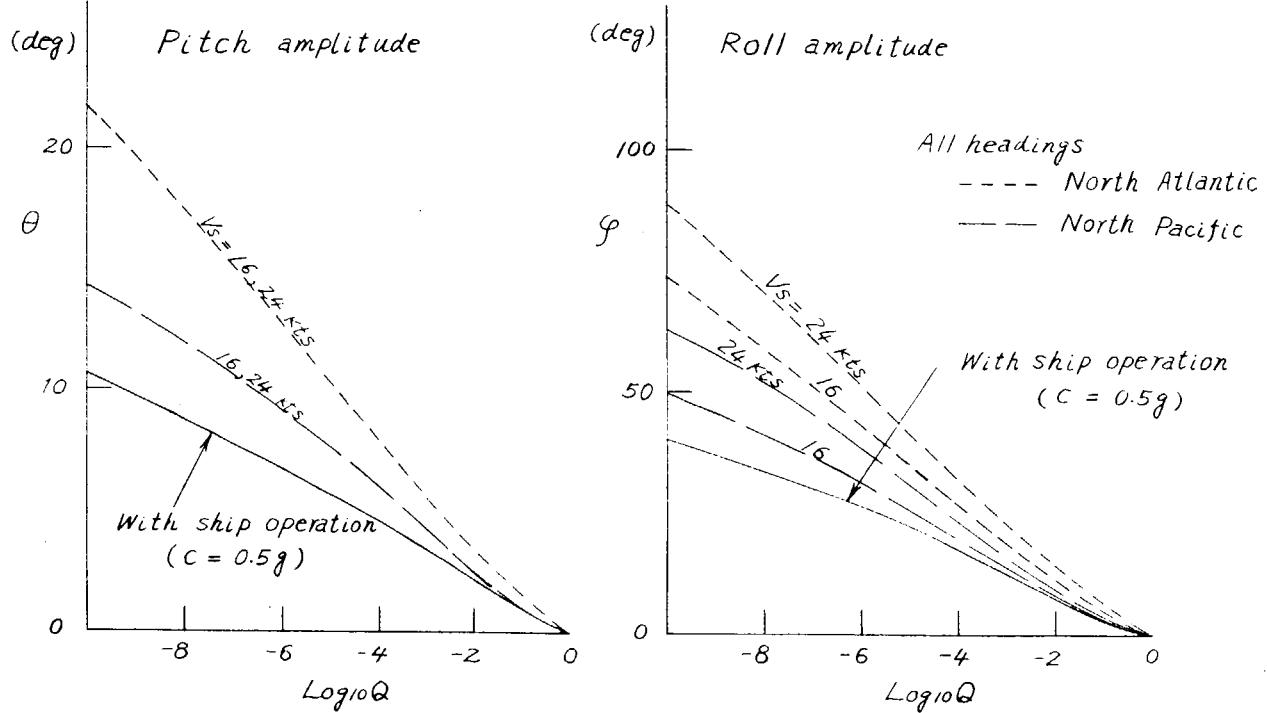


Fig 2.3.3.3 Map of sea zones in the North Pacific



(その1)



(その2)

Fig 2.3.3.4 Long-term distribution of ship responses predicted by considering a ship operation

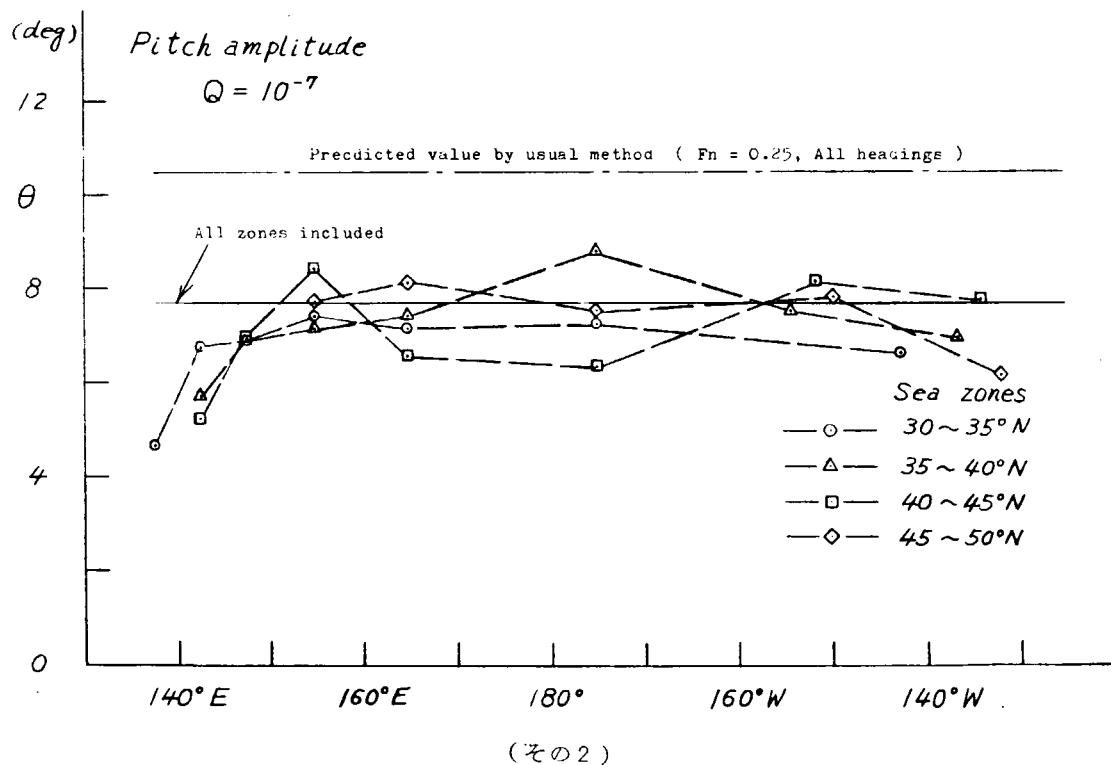
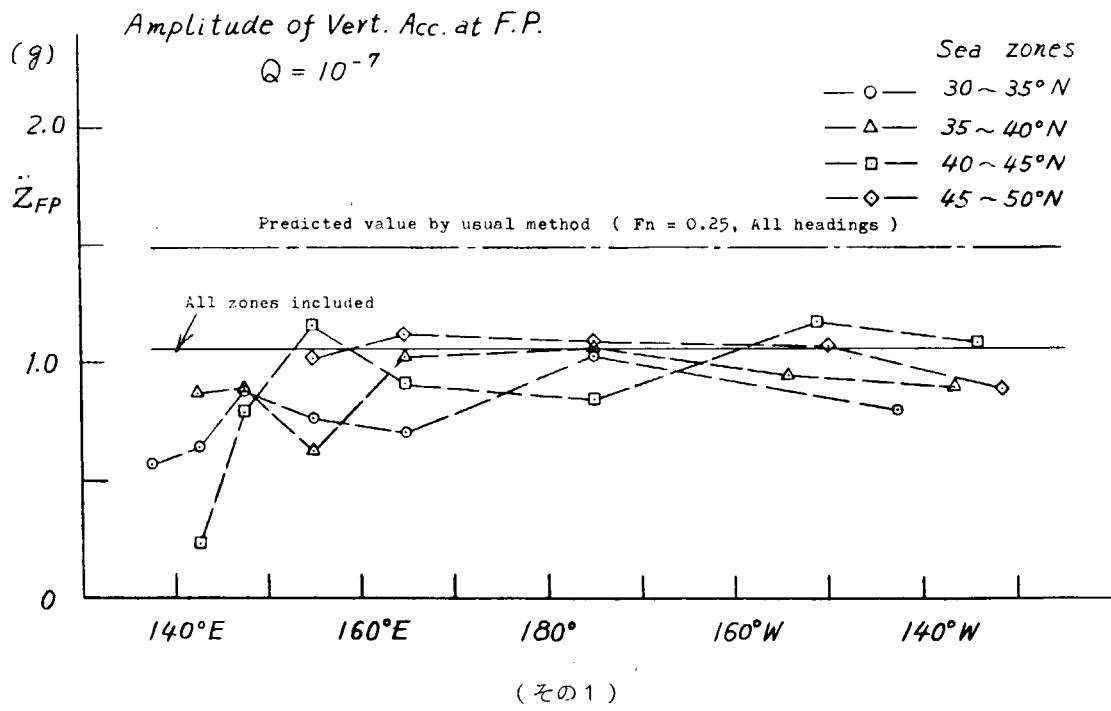
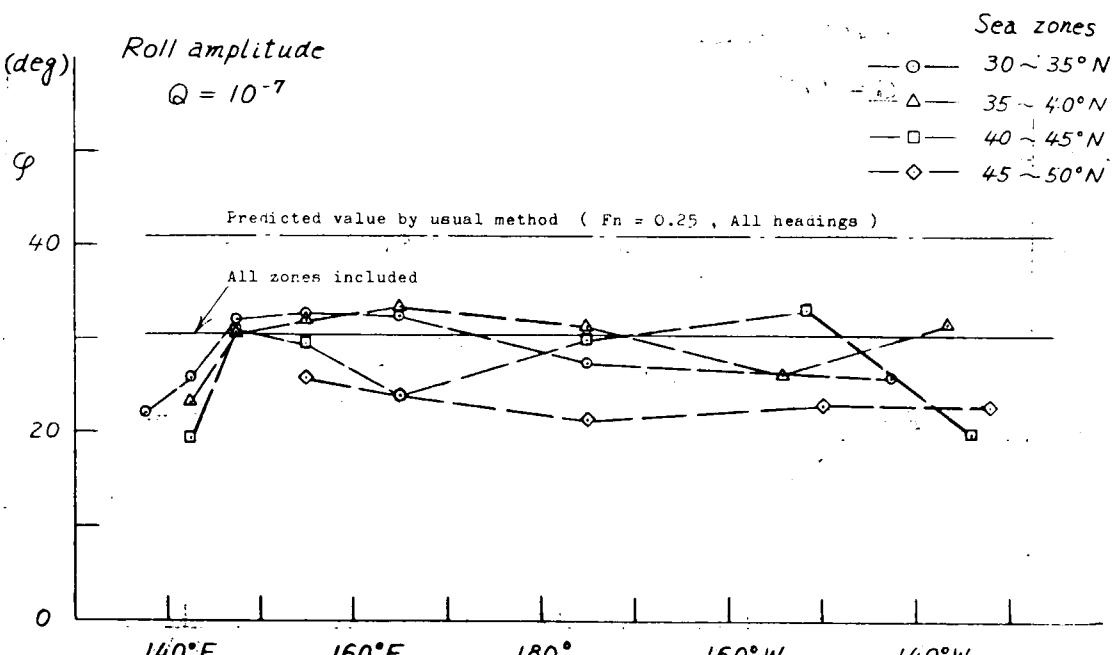
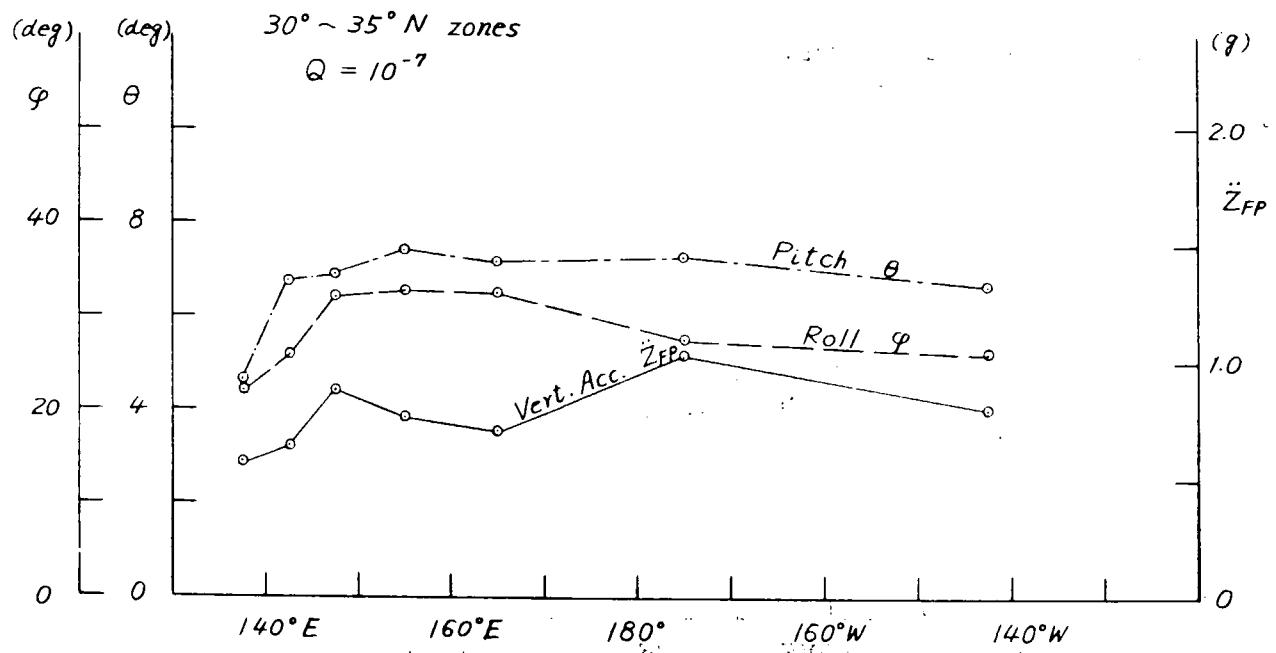


Fig 2.3.3.5 Distributions of ship responses in the direction of the longitude predicted with constant exceeding probability ($Q=10^{-7}$)



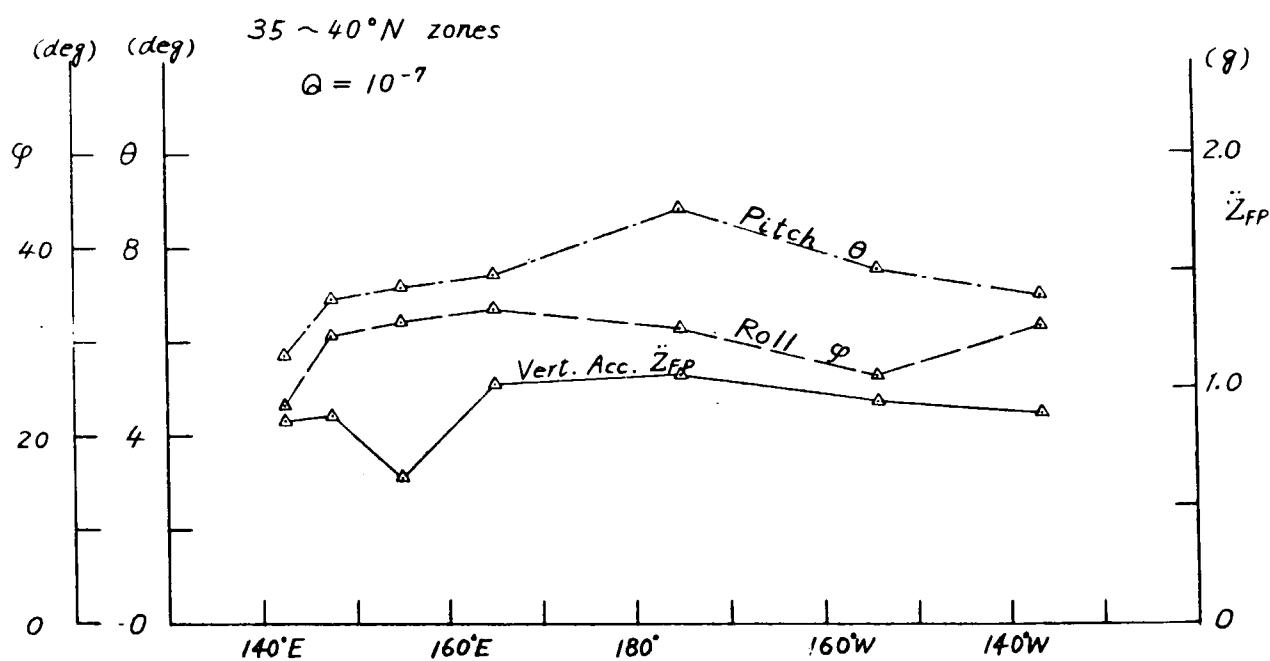
(その3)

Fig 2.3.3.5 Distributions of ship responses in the direction of the longitude predicted with constant exceeding probability ($Q=10^{-7}$)

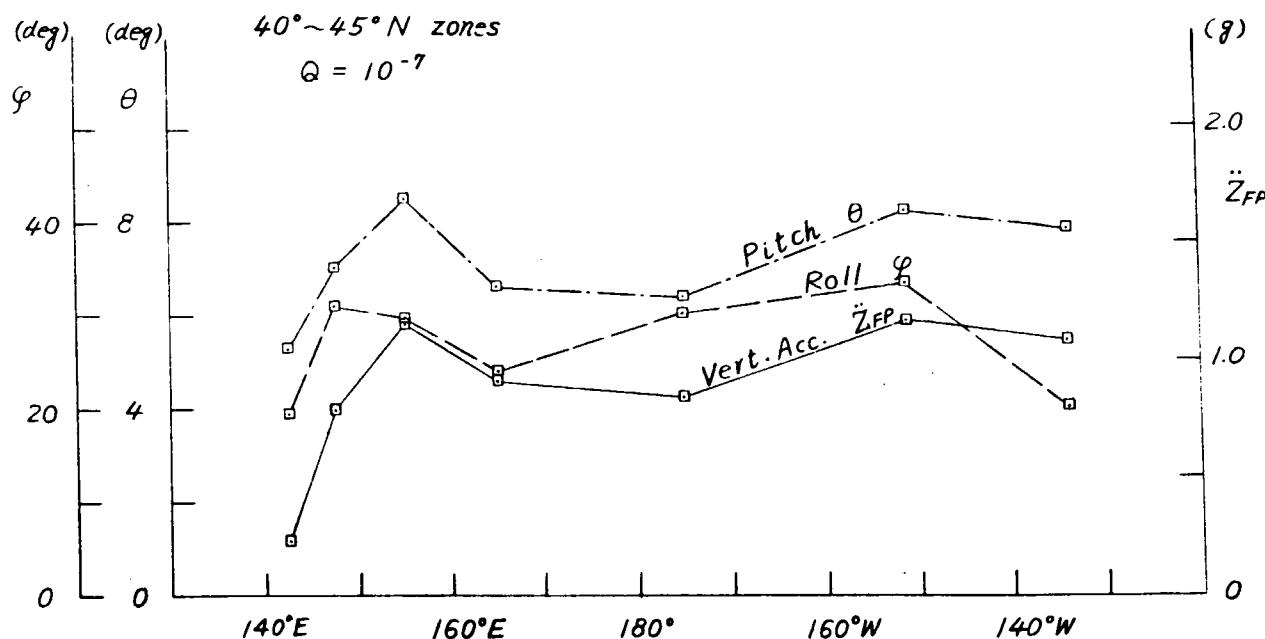


(その1)

Fig 2.3.3.6 Distributions of ship responses in the direction of longitude predicted with constant exceeding probability ($Q=10^{-7}$)

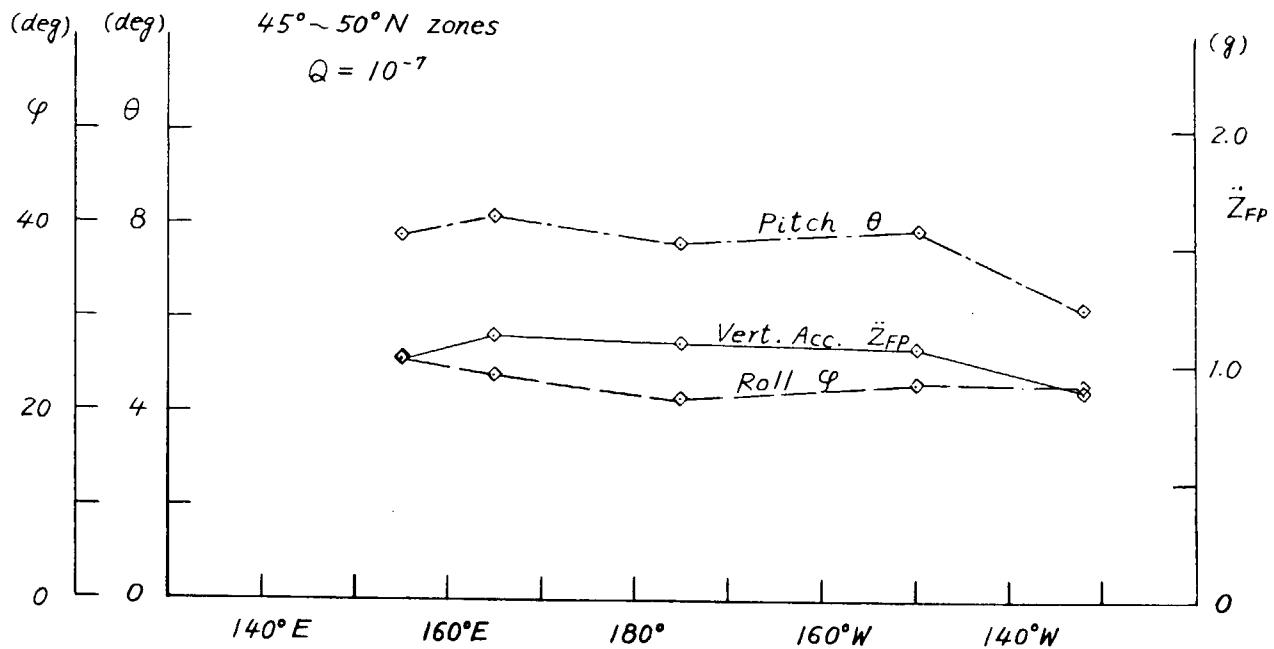


(その 2)



(その 3)

Fig 2.3.3.6 Distributions of ship responses in the direction of longitude predicted with constant exceeding probability ($Q=10^{-7}$)



(その4)
Fig. 2.3.6 Distributions of ship responses in the direction of longitude predicted with constant exceeding probability
($Q = 10^{-7}$)

2.4 不規則海面の発生方法

ある海域の海面状態を乱数を用いて発生させるには、その海域での過去の海象のデータをもとに、Fig. 2.4.1に示すような累積分布曲線を作つておき、一様乱数 U を発生させて、それに対応する波高を読めばよい。

一様乱数の発生は普通、混合型合同式法と呼ばれる次の式

$$U_{n+1} = U_n \times \lambda + \mu \quad \dots \quad (2.4.1)$$

を用いることが多い。

この方法で発生させた乱数の累積分布曲線を Fig. 2.4.2 の点線で示す。これが勾配 4.5° の直線になつていれば、完全な一様乱数であるが、今回用いたものでは 1 に近い数がやや出にくい傾向があつた。ところが、実際は 1 に近い所で累積分布曲線の形が勾配 4.5° の直線に近くないと、船の航行上問題となる激しい海象の発生確率が過去のデータと合わなくなる恐れがある。そこで、式 (2.4.1) で発生させた乱数を多少変形して用いることにした。すなわち、 U が 0.8 以上でしかも小数第 2 位が 6 以上の場合に、別の一様乱数 U' を用いて

$$U = U + (1 - U) \times U' \quad \dots \quad (2.4.2)$$

という変形を行なうという方法である。その結果、Fig. 2.4.2 に実線で示すような、ほぼ満足できる曲線となつたので、一様乱数の発生には、この方法を用いることにした。

このような乱数を用いて発生させた波高の分布の例を Fig. 2.4.3 に示す。用いた乱数の数は 100 個であるが、ほぼもとのデータに似たものを得ることができる。

この方法を波高だけでなく、波方向についても用いて発生させた海象の例を Fig. 2.4.4 に示す。もとの海象のデータとしては山内¹⁾等の北太平洋のものを用いている。

なお、このような方法で海面状態を作り出すと、ある地点の海象とすぐ近くの海象との間の関係が考慮されないということがおこるので、この点についてはさらに検討の必要がある。

参考文献

1) Y. Yamanouchi and A. Ogawa, Papers of S.R.I., Supplement A62, 1970

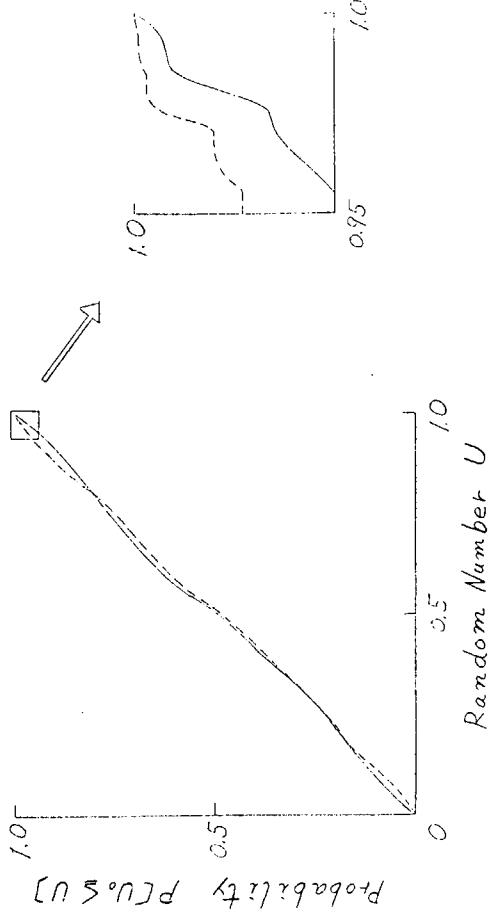


Fig 2.4.1 亂数による波高の発生

Wave Height
 H (m)

$P(H > H^*)$

Probability

10

Random Number
Number

Fig 2.4.2 一様乱数

Random Number U



SEA STATE USED FOR THE CALCULATION
FEBRUARY
Beaufort 5 ~ 6 6 ~ 7 7 ~ 8 8 ~ 9 9 ~ 10

Fig 2.4.2 一様乱数

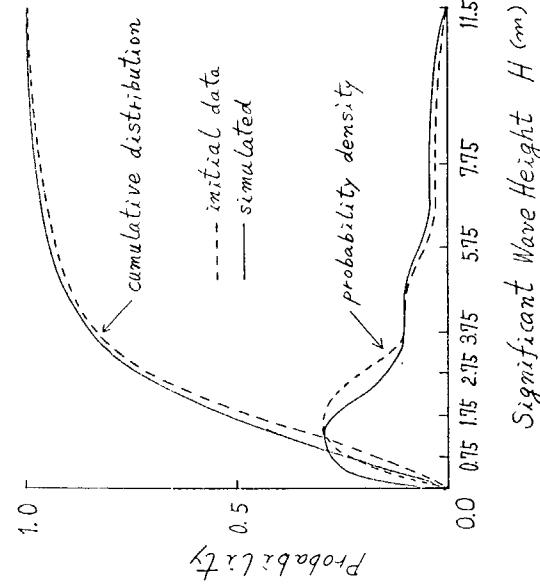


Fig 2.4.3 亂数を用いて発生させた波高

Significant Wave Height H (m)

Probability

0.0

0.5

1.0

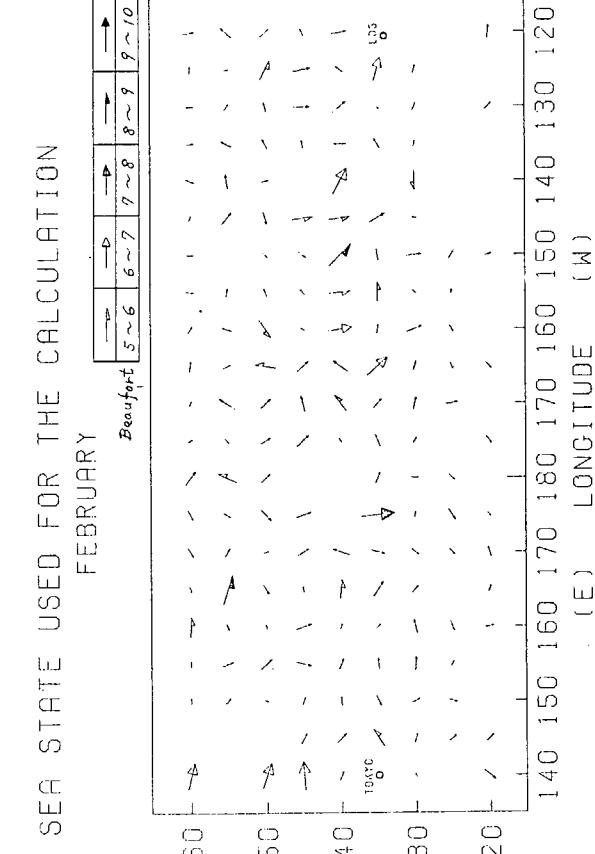


Fig 2.4.4 亂数を用いて発生させた海象

2.5 冬期北太平洋航海のシミュレーション計算

最適航路の計算法については、すでに SR108 の 46 年度報告書¹⁾ でのべたが、それはポントリヤーギンの最大原理から求まる式

$$\begin{aligned} \frac{d\psi}{dt} \cdot R \cdot \left\{ 2 \left(\frac{\partial v}{\partial \psi} \right)^2 + v^2 - v \frac{\partial^2 v}{\partial \psi^2} \right\} &= \sin \psi \cdot \left\{ v^2 \frac{\partial^2 v}{\partial \psi \partial \theta} - 2v \frac{\partial v}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{v^2}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial v}{\partial \phi} \right. \\ &\quad \left. - v^2 \tan \theta \cdot \frac{\partial v}{\partial \psi} \right\} + \cos \psi \cdot \left\{ \frac{v^2}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \psi \partial \phi} - \frac{2v}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial v}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial v}{\partial \psi} - v^2 \frac{\partial v}{\partial \theta} \right. \\ &\quad \left. - v^2 \tan \theta \right\} + R \left(v \frac{\partial^2 v}{\partial \psi \partial t} - \frac{\partial v}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \right) \quad \dots \dots \dots (2.5.1) \end{aligned}$$

によって船の方方位 ψ の時間変化を求め、次式

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= \frac{V \cos \psi}{R \cos \theta} \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{V \sin \psi}{R} \\ \frac{ds}{dt} &= v \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.5.2)$$

によって航跡（経度 ϕ 、緯度 θ ）と航行距離 s を求めようとするもので、この際船速 v は、海象の影響を受ける。

計算は、地球の半径 R を 34385 漪、東京の位置を（140°E, 35°N）、ロサンゼルスの位置を（120°W, 34°N）として行なつた。

まず海面状態であるが、この発生方法は、2.4 でのべた乱数による方法であり、もとの資料としては、北太平洋における船舶からの報告を山内²⁾ 等がまとめたもののうち 12 月、1 月、2 月の冬期 3 ヶ月のデータを用いた。経度、緯度を 5° おきに分割した各点に対し、波高と波方位を別々の乱数で発生させ、途中の値は回りの 4 点を用いた直線補間によつた。海象の時間変化は考えていない。波高は Table 2.3.1-1 により、ピューフォートスケールに変換しており、それに応じて波周期と風速が自動的に決つてしまふ。

このような海象中を航行するときの船の速力は田村³⁾ 等が指摘しているように抵抗増加にもとづく nominal loss of speed と危険回避のための deliberate loss of speed によって決るが、nominal loss of speed としては SR108 の 46 年度報告の値を用い、deliberate loss of speed を決めるための耐航性諸要素の限界値としては、有義両振幅が縦揺れで 6°、横揺れで 24°、船首の上下加速度で 0.6 g とし、海水打込み確率、スラミング発生確率、プロペラ 1/3 D 露出確率はそれぞれ 2/100, 2/100, 1/10 とした。SR125 の実船実験⁴⁾ によれば、観測値のうち、縦揺れの有義両振幅は 9.0 %、横揺れの有義両振幅は 9.8 %、船首上下加速度の有義両振幅は 9.2 % がこの範囲に入つている。

航路のシミュレーションの方法は、まず出発点での船の方方位を適当に定め、(2.5.1)、(2.5.2) 式により航路の計算を行なつてトライアル・アンド・エラーの方法で目的地に達するものを求める。数回の計算を行なつても目的地に達する解が得られなければ、乱数を用い、大圈航路の方向の北へ 5°、南へ 10° の間で方向を定め (2.5.1)、(2.5.2) 式に従い、とりあえず 1 日航行する。次にあらためてその位置を出発点とし、船の方方位を適当に定め、目的地に達する解をさがす。数回の試行で解が得られなければ、乱数を用い、大圈航路の方向を中心にして ± 5° の範囲で船の方方位を定め (2.5.1)、(2.5.2) 式に従い、とりあえず 1 日航行する。以下これを繰り返して航跡を求める。ただし、航跡は 50°N と 28°N の間におさまるよう制限を加えた。

計算は平水中速力が 2.0, 2.2, 2.4 kt の 3 種について、東京とロサンゼルス間の往航、復航の 2 ケース、海象は冬期 3 ヶ月について各月 1.5 ケース、計 27.0 ケースについて行なつた。

結果の航跡を Fig. 2.5.1 ~ 2.5.18 に示す。一見して明らかなるごとく、ほとんどの航跡が大圏航路のまわりにかたまつている。これをさらにくわしくみるため Fig. 2.5.19 と Fig. 2.5.20 に西経 170° 通過時の緯度の分布を示す。大圏航路ではこの値が約 47°N であるが、シミュレーション計算の平均値もそれに近い。一方 SR125 の実船実験結果をみるとつとも北を通つた例でも、往航で 42°N, 復航で 35°N であり、計算との間に大きな差がある。ただし実船実験では 11 月に 1 隻が復航時 46°N を通つている。

シミュレーション計算による船と波との出会い角は Fig. 2.5.21 に示すように全体に往航は斜め追い波が多く、復航は斜め向い波が多くなつており、この傾向は從来の経験と一致する。しかし遭遇した海象についてみると、Fig. 2.5.22 と Fig. 2.5.23 のように計算ではビューフォート 5 以上の割合が 10% 程度と大変少く、SR125 での経験を示した Fig. 2.5.24 とは大幅に異なる。この理由としては、シミュレーション計算でよく通過した海域 M05 の海象発現率を示した Table 2.3.3 ~ 6 で明らかなように、もとのデータでもビューフォート 5 以上の発現率がそれほど高くないこと、即ち使用した海象発現率のデータが、船舶からの報告であるため、それらの船舶が、荒天を避ける操船を行なつたあとの遭遇海象であり、実際に発現した海象にくらべ荒天の部分の割合が少なくなつていることが考えられるにもかかわらず、シミュレーション計算では、そのデータをもとにして、さらに荒天を避けるような航法をとつていることが原因と考えられる。

6 時間ごとの平均船速の分布を Fig. 2.5.25 と Fig. 2.5.26 に示す。ほとんどすべてが平水中船速の近傍に集まつている。往航では追い波のため船速が少し上がつているものが 25% 近くあるが、復航ではそれが 10% 程度に減つている。

船速がある値に決まつた原因を 6 時間ごとに求め、その分布を Table 2.5.1 に示す。これによればほとんどが nominal loss of speed によつており、deliberate loss of speed では船首上下加速度によるものが比較的多い、スラミングとプロペラ露出によるものではなく、これら 2 つの原因で減速する前におそらく上下加速度による制限で減速するものと考えられ、竹沢⁴⁾ の仮説「本船型の波浪中の操船は、船首の上下加速度が両振幅の有義値で約 0.5 g を越えないと進行が不可能である。」を裏書きしているように思われる。

一航海の平均船速の分布は Fig. 2.5.27 と Fig. 2.5.28 に示すとおりで、平均値は平水中にくらべ往航で約 0.5 kt、復航で約 0.7 kt 落ちている。この値は SR125 の実船実験の値、往航 0.7 kt、復航 2.0 kt にくらべると、特に復航での差が大きい。

航程係数の平均値の比較では、シミュレーション計算では復航時にやや大きくなる傾向が見えるものの全体として、1.01 の前後であり、在来船の実績である理論値 + 1% を考慮⁵⁾ しても、SR125 実船実験の往航 1.05、復航 1.10 とは大きく異なる。なお、SR125 実船実験でもつとも大きな係数は 1.155 で、平均値とそれほど差がないのに、シミュレーション計算では、1.20 を超えるものもあり、それに応じて Fig. 2.5.31, Fig. 2.5.32 の航行日数でも平均値と 2 日も 3 日も異なるものが見受けられる。このような場合には、航跡も、実船ではありそうもないものになつているようである。さらに実船では 2 日も 3 日も遅れるようならば多少の無理をしてでもスケジュールに近づけようとするのではないかと思われるが、シミュレーション計算ではそのようにはならないことがこのような結果の出た原因の一つと思われる。

シミュレーション計算により以上のような結果を得たが、実船での経験と大幅に異なる点が多くあるので、海面の発生、限界速度の決め方、操船方法等についてさらに検討を加えたい。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会第 108 研究部会報告書、研究資料 No. 143、昭和 47 年 3 月
- 2) Y. Yamamoto and A. Ogawa, Papers of S.R.I. Supplement No. 2, 1970
- 3) 田才福造、他：“肥大型の耐航性能に関する研究”、西部造船会会報、第 37 号、昭和 44 年
- 4) 日本造船研究協会第 125 研究部会、研究資料 No. 157、昭和 47 年 3 月

Table 2.5.1 速度制限の原因

Ship Speed in Still Water (kt)	20		22		24	
	Out Ward	Home Ward	Out Ward	Home Ward	Out Ward	Home Ward
Nominal loss of Speed	9.882	9.850	9.887	9.820	9.763	9.638
Significant double amplitude of Pitching $\leq 6^\circ$	0.54	0.83	0.53	0.36	0.86	1.08
Significant double amplitude of Rolling $\leq 24^\circ$	0.00	0.05	0.06	0.12	0.53	0.32
Significant double amplitude of Vert.Acc. at F.P. $\leq 0.6g$	0.65	0.61	0.41	1.31	0.78	2.23
Probability of deckwetness at S.S. 9 1/2 ≤ 0.02	0.00	0.00	0.12	0.00	0.19	0.00
Probability of Slamming ≤ 0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probability of Propeller 1/3 D emersion ≤ 0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DECEMBER 20 KNCT OUTWARD

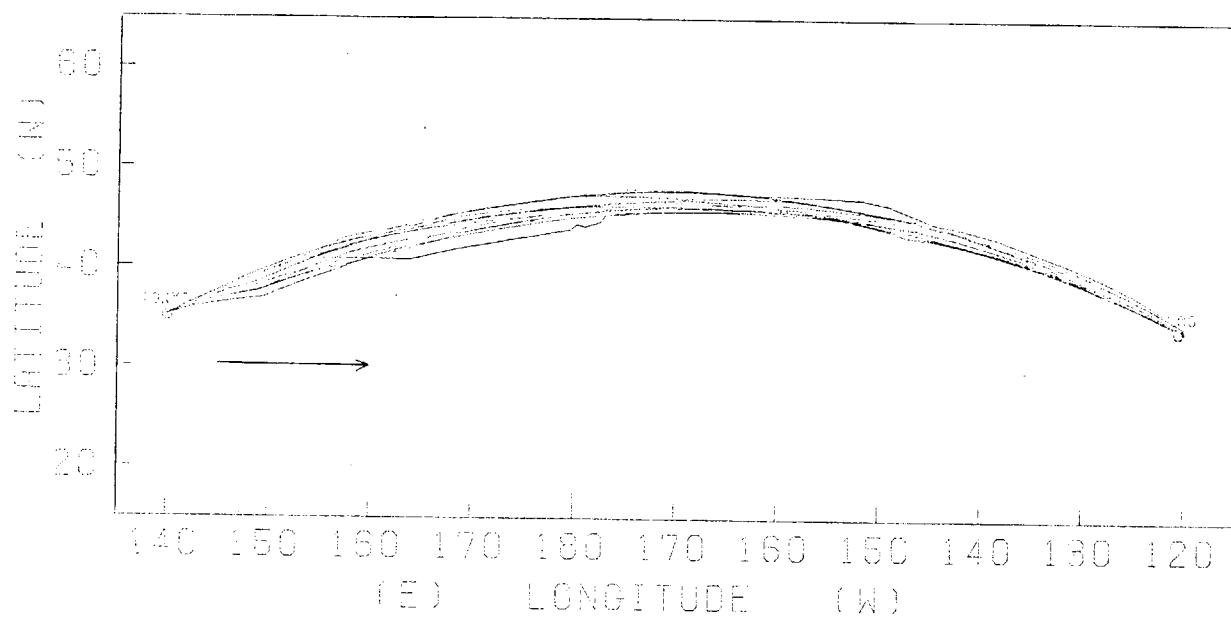


Fig 2.5.1 航跡

DECEMBER 20 KNOT HOMeward

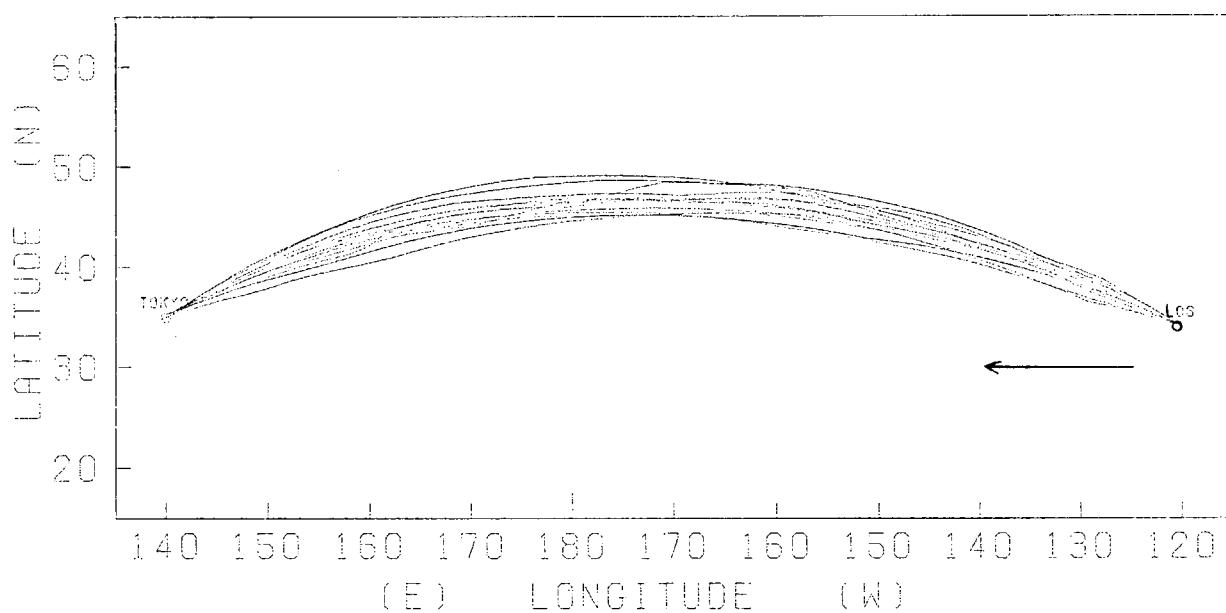


Fig 2.5.2. 航跡

JANUARY 20 KNOT OUTWARD

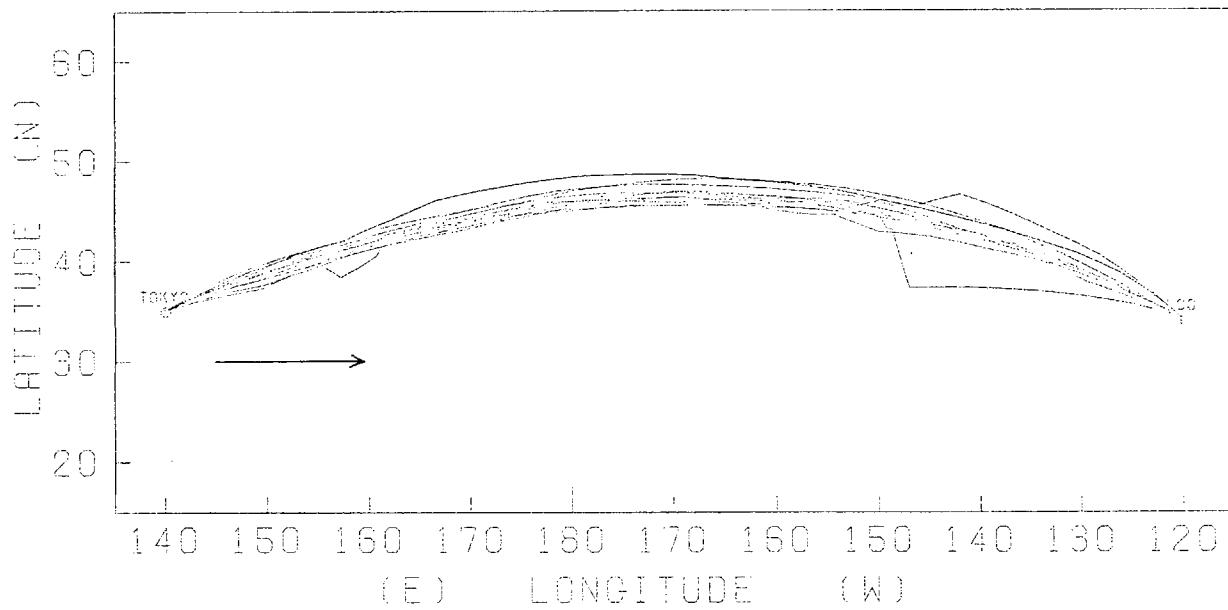


Fig 2.5.3. 航跡

JANUARY 20 KNOT HOMeward

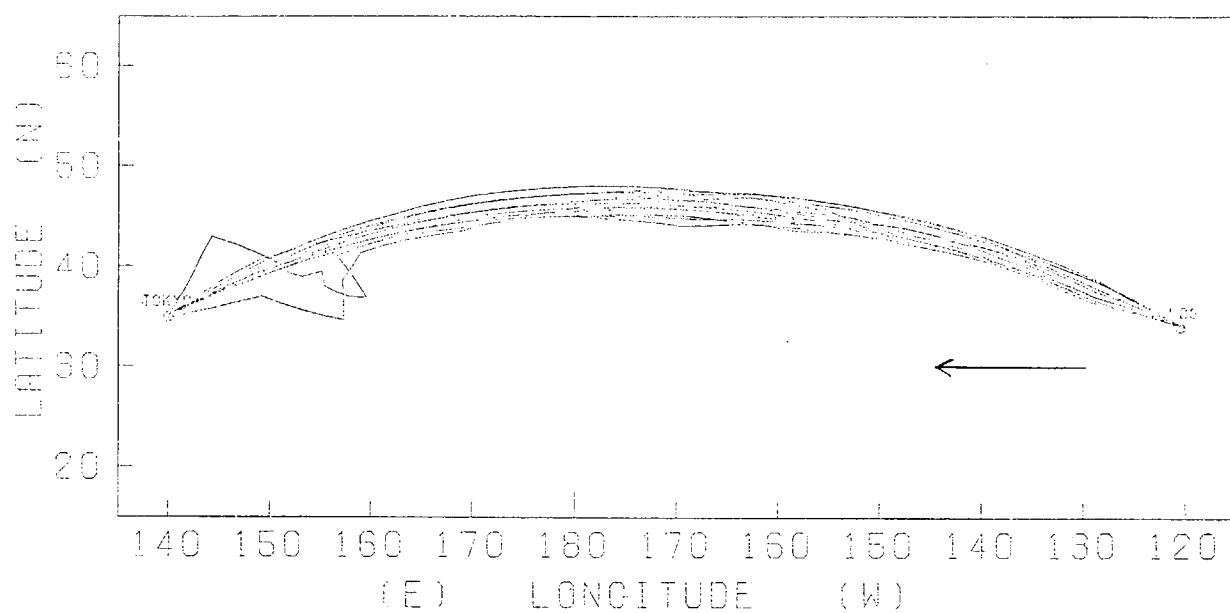


Fig 2.5.4 航 跡

FEBRUARY 20 KNOT OUTWARD

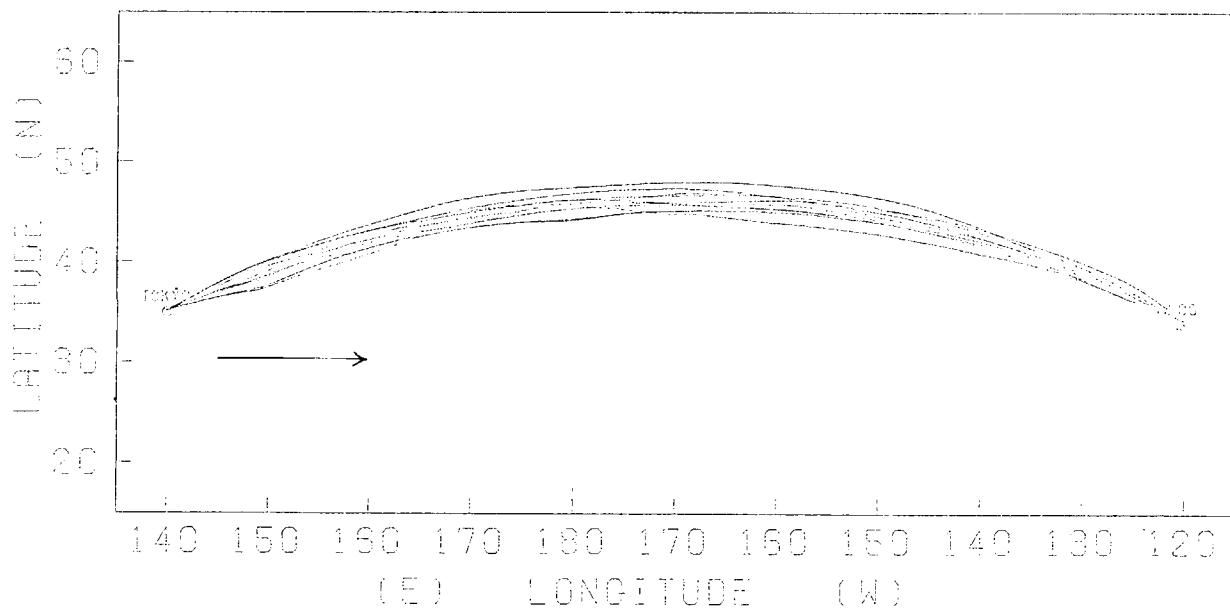


Fig 2.5.5 航 跡

FEBRUARY 20 KNOT HOMeward

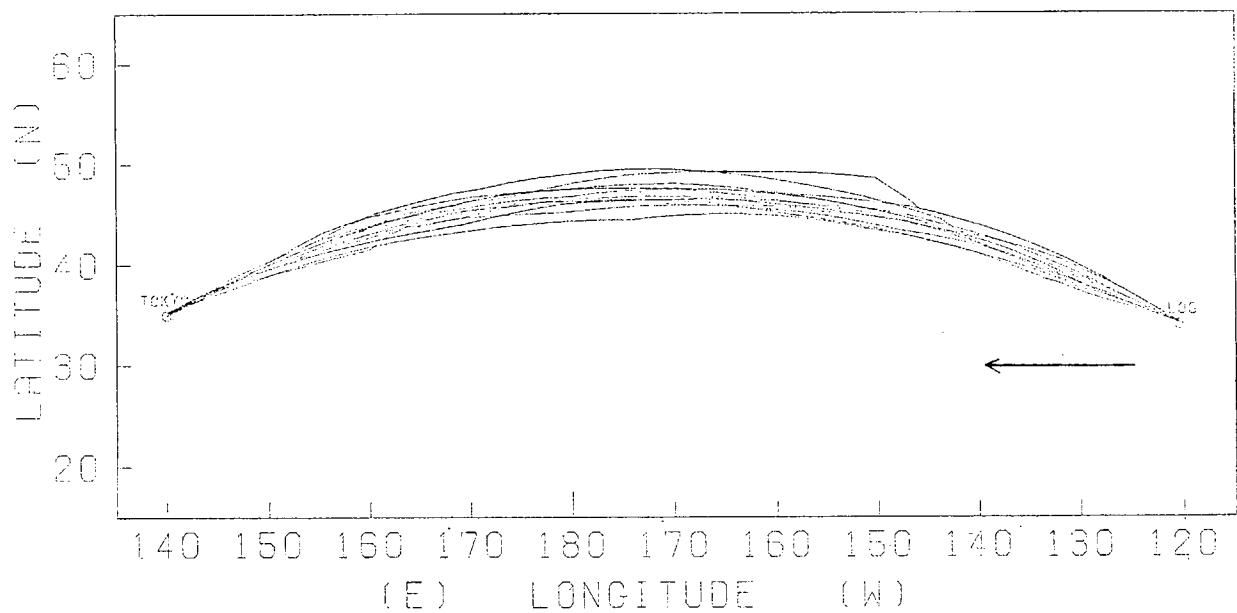


Fig 2.5.6 航跡

DECEMBER 22 KNOT OUTWARD

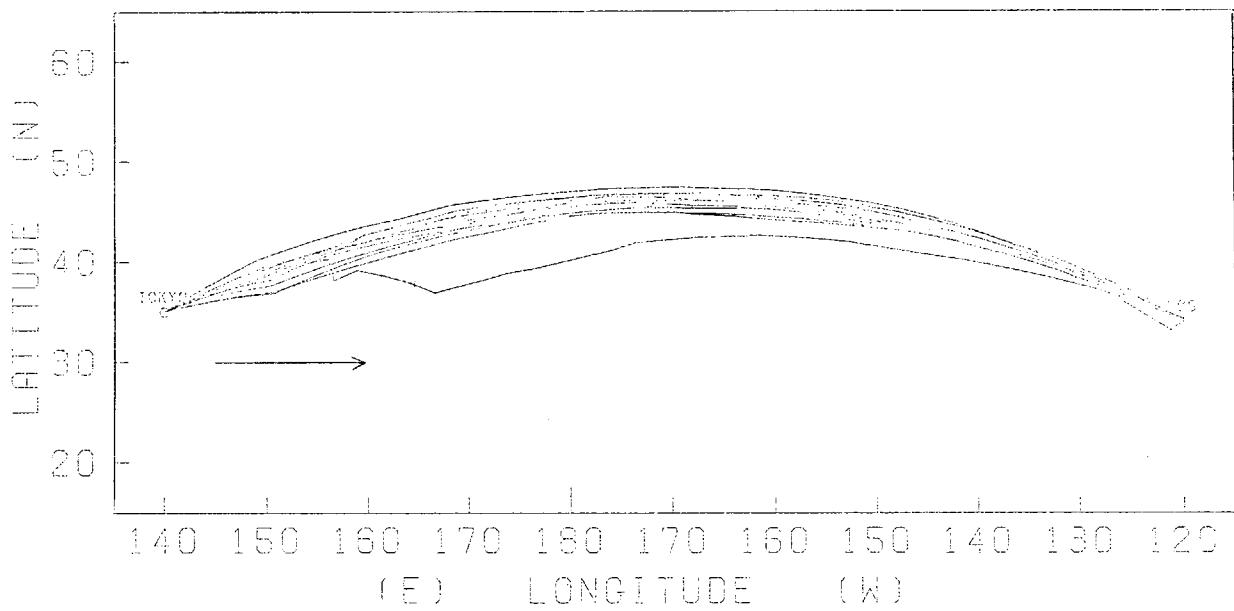


Fig 2.5.7 航跡

DECEMBER

22 KNOT

HOMeward

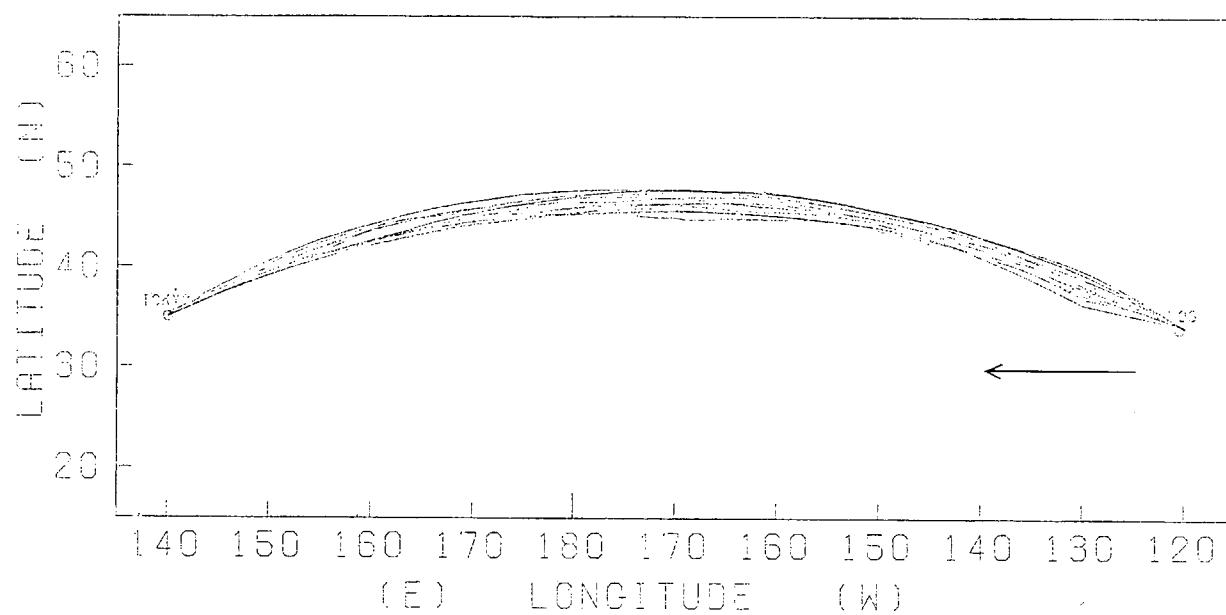


Fig 2.5.8 航跡

JANUARY

22 KNOT

OUTWARD

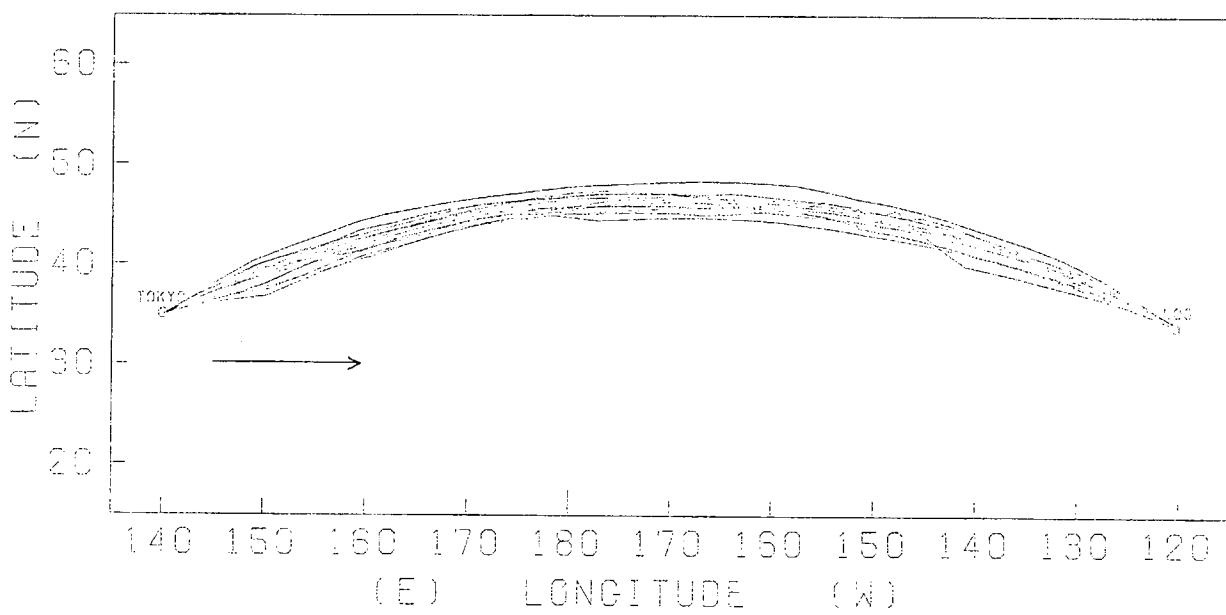


Fig 2.5.9 航跡

JANUARY 22 KNOT HOMeward

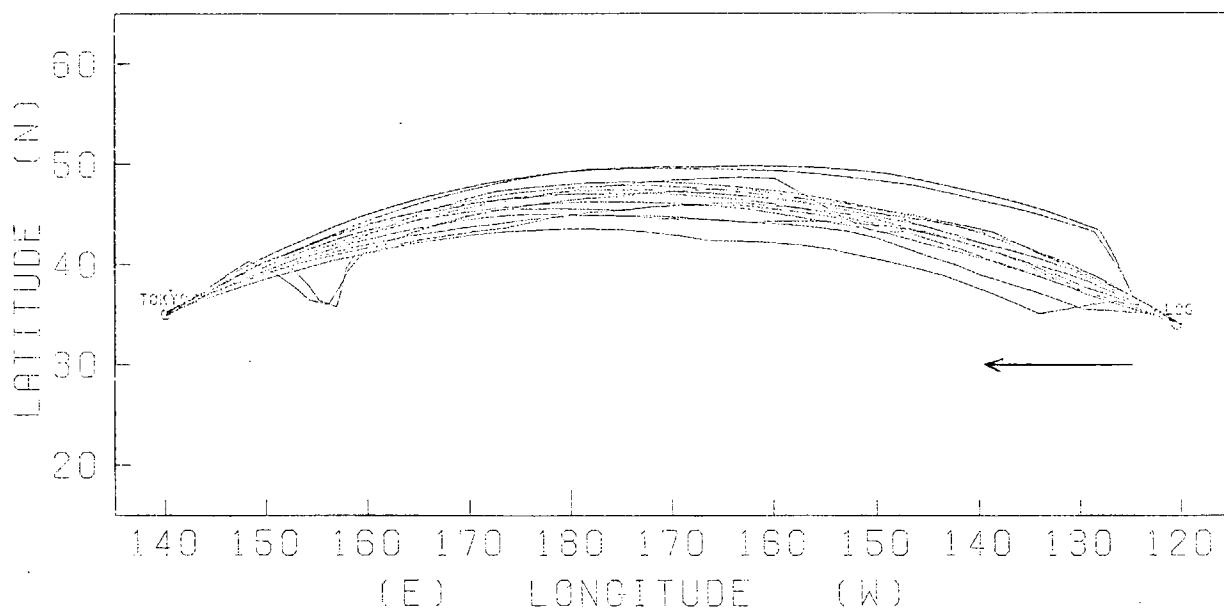


Fig 2.5.10 航 跡

FEBRUARY 22 KNOT OUTWARD

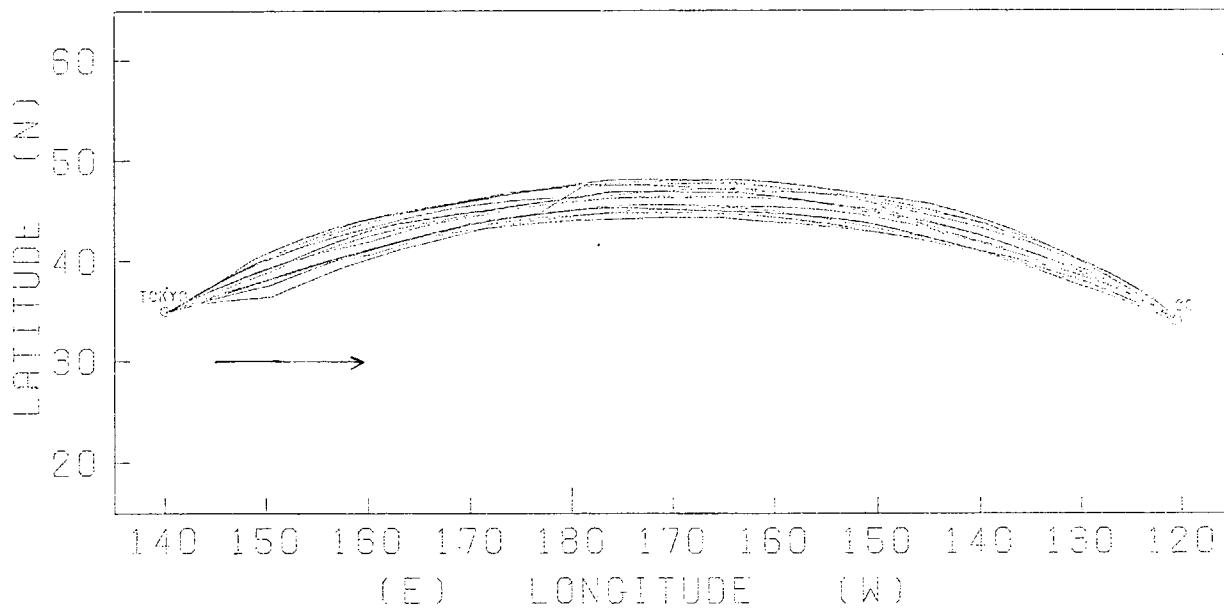


Fig 2.5.11 航 跡

FEBRUARY 22 KNOT HOMEWARD

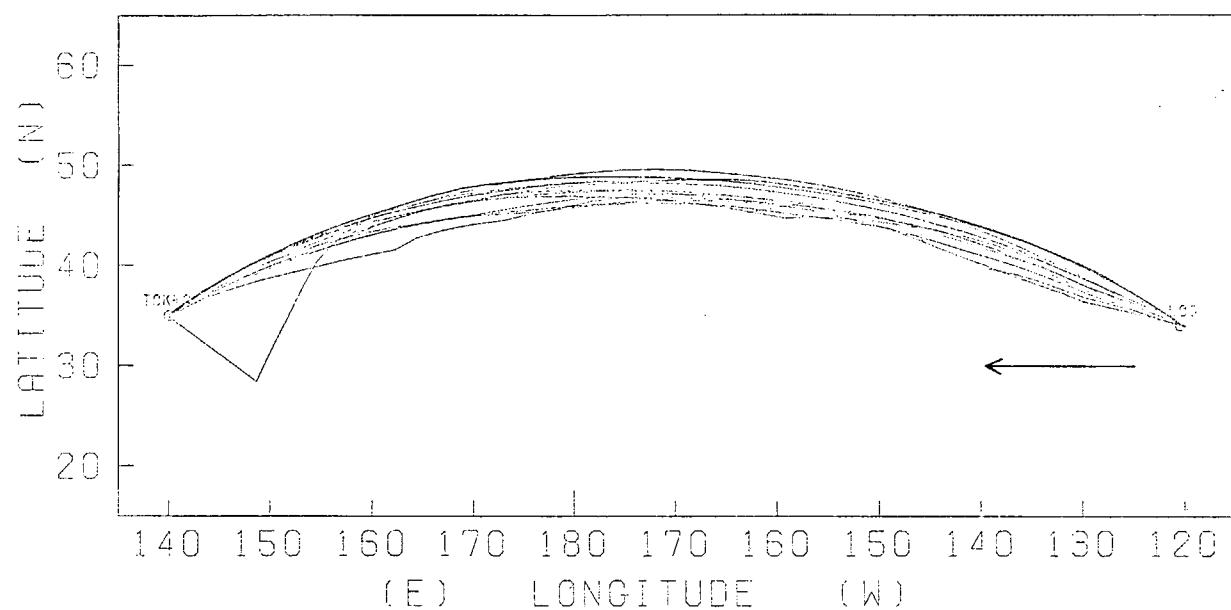


Fig 2.5.1.2 航跡

DECEMBER 24 KNOT OUTWARD

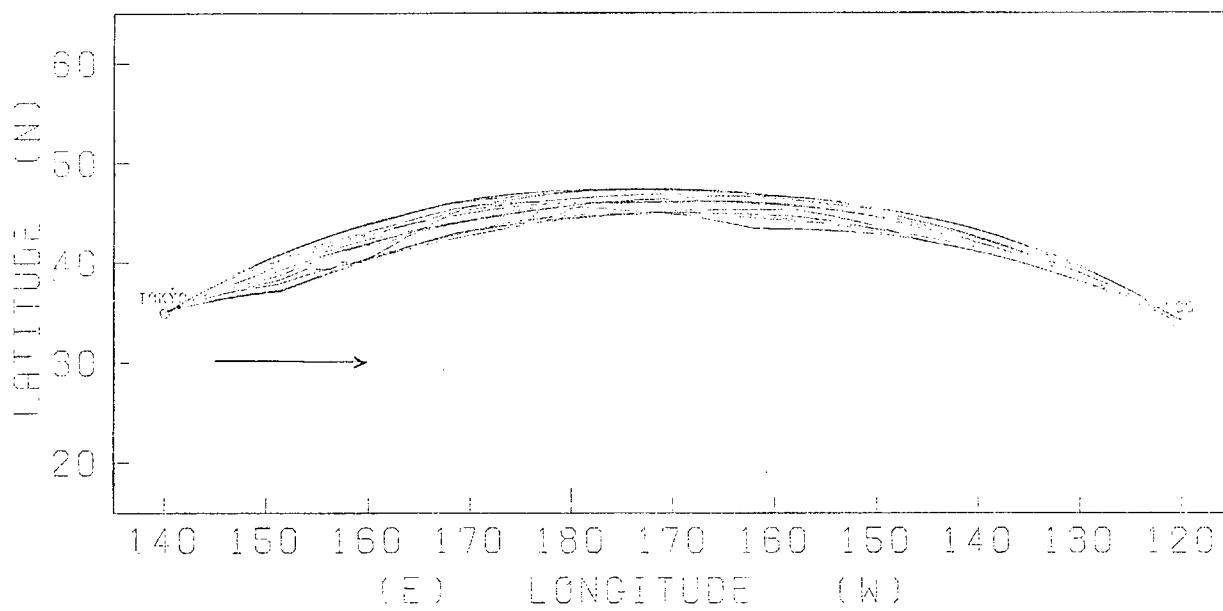


Fig 2.5.1.3 航跡

DECEMBER 24 KNOT HOMeward

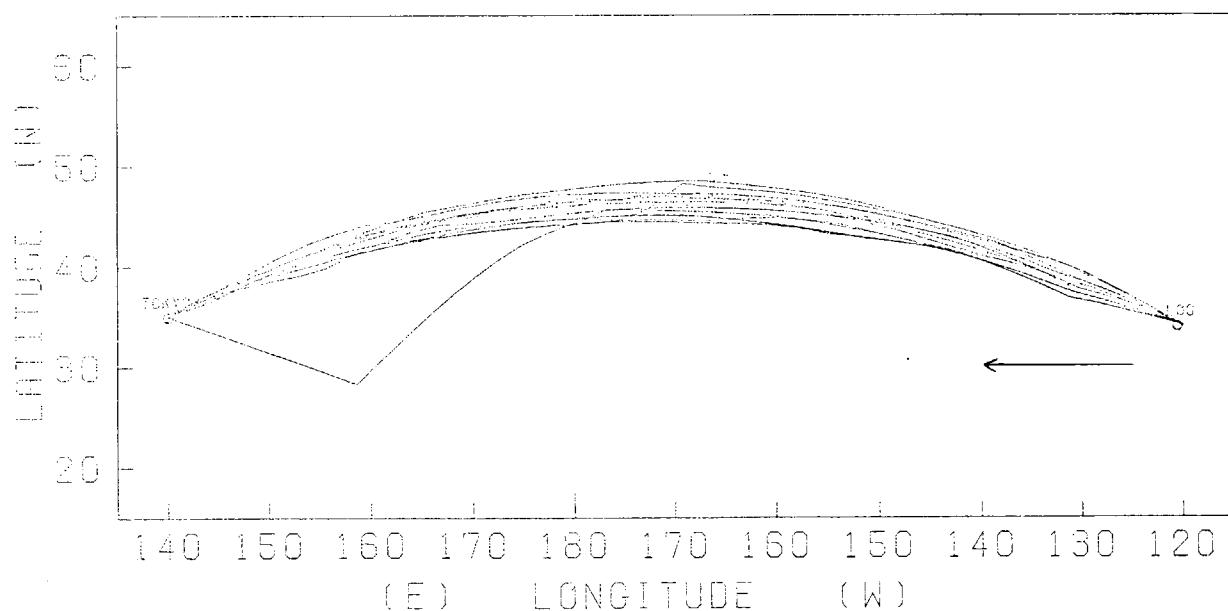


Fig 2.5.14 航 跡

JANUARY 24 KNOT OUTWARD

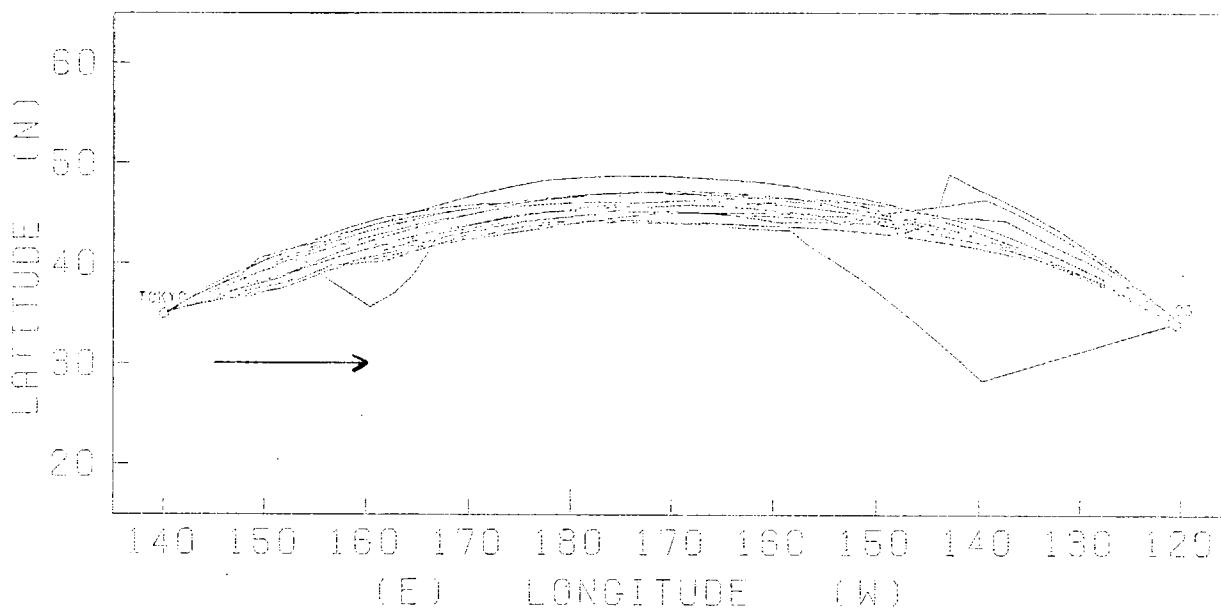


Fig 2.5.15 航 跡

JANUARY

24 KNOT

HOMeward

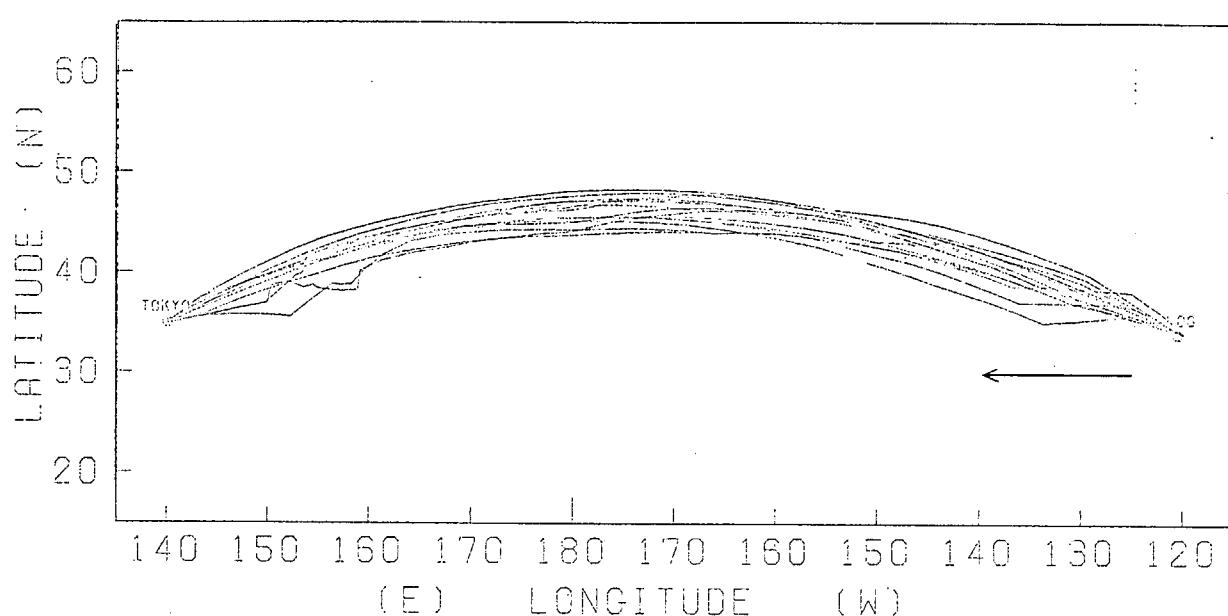


Fig 2.5.16 航跡

FEBRUARY

24 KNOT

OUTWARD

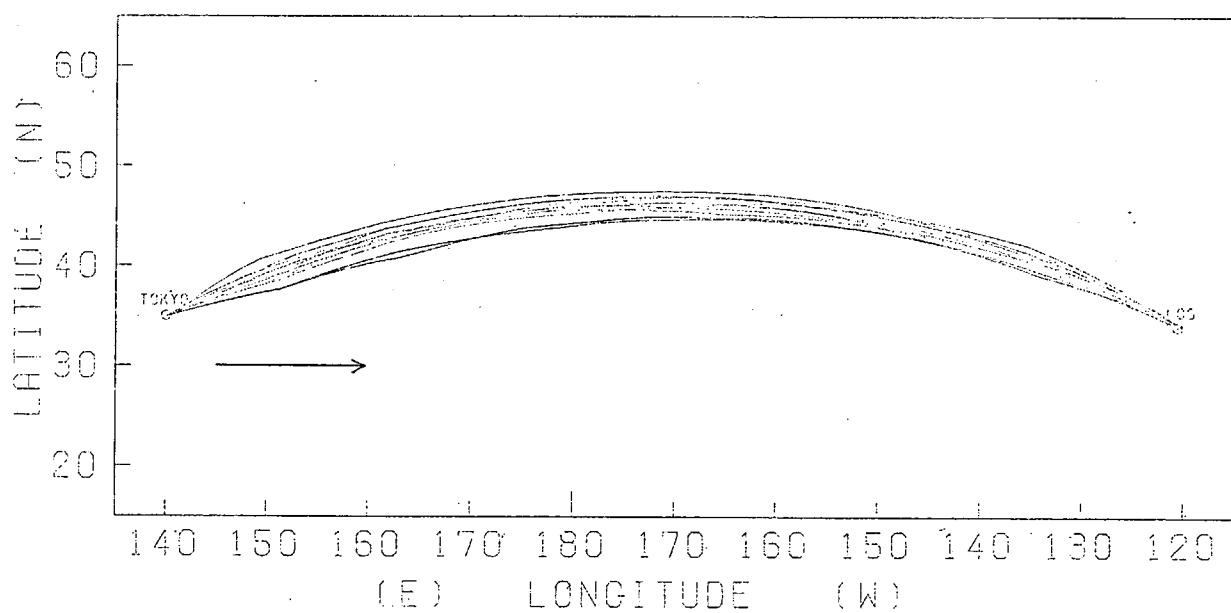


Fig 2.5.17 航跡

FEBRUARY

24 KNOT

HOMeward

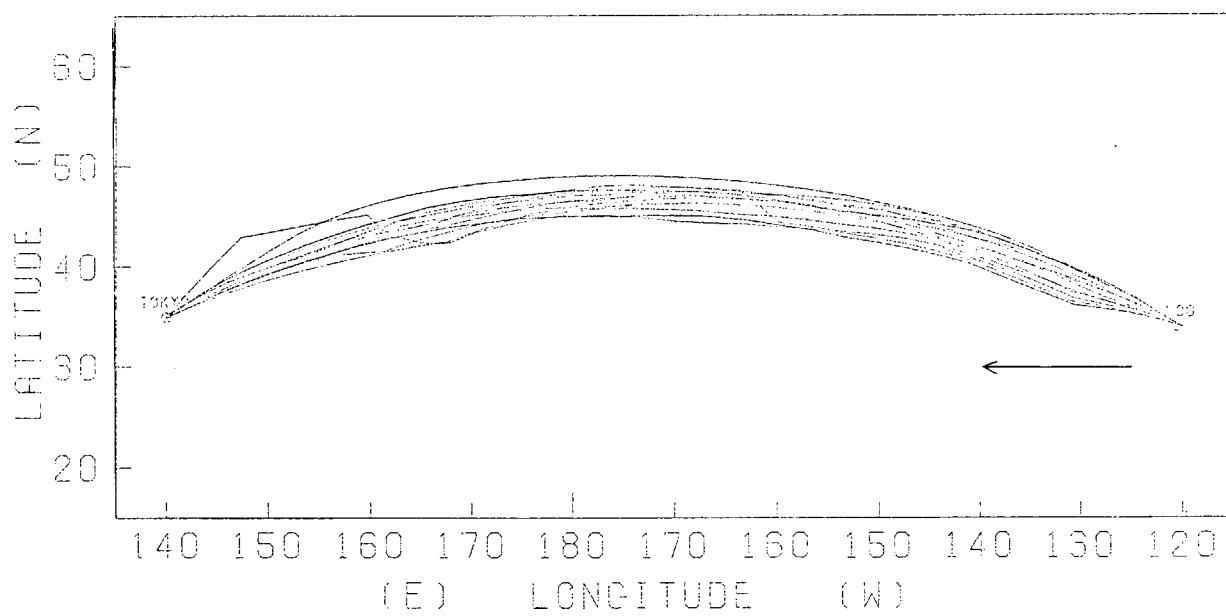


Fig 2.5.18 航跡

Winter (outward)

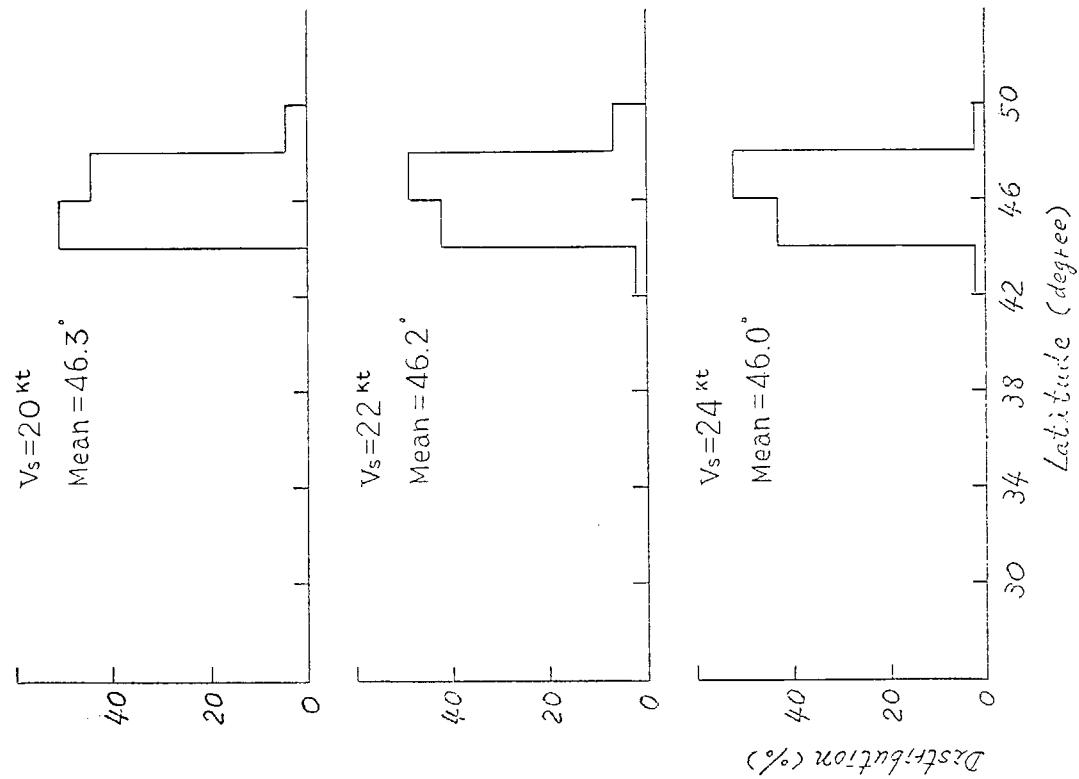
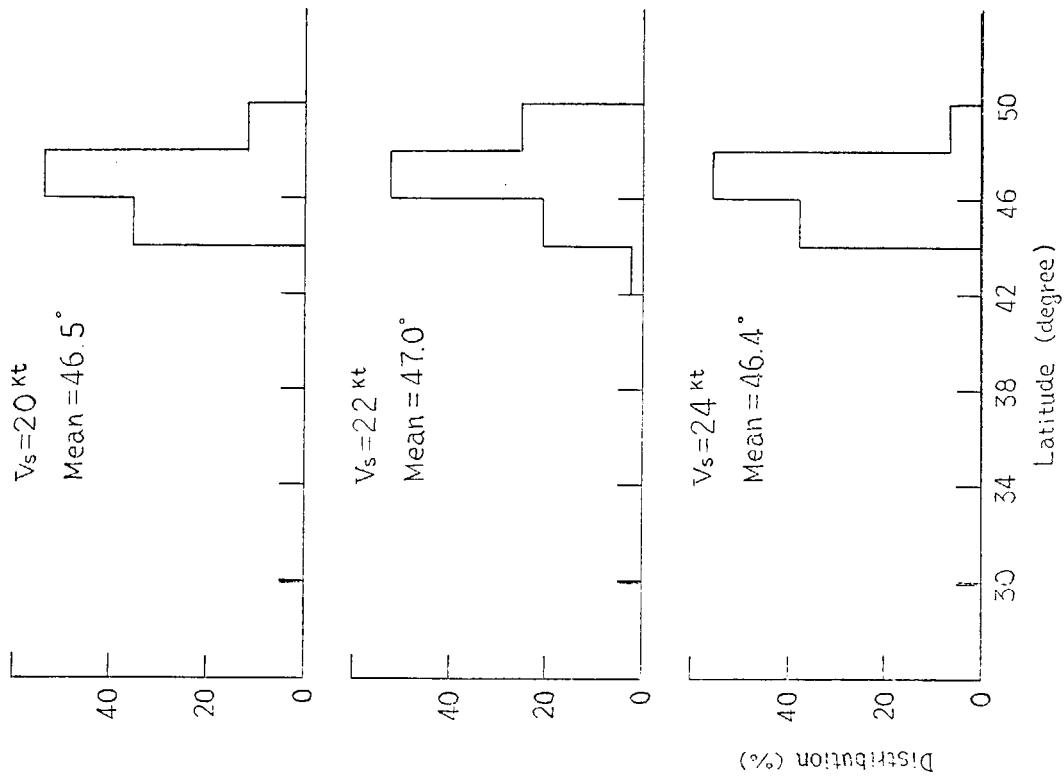


Fig 2.5.19 西経 170° 通過時の緯度

Winter (homeward)



Winter (outward) (homeward)

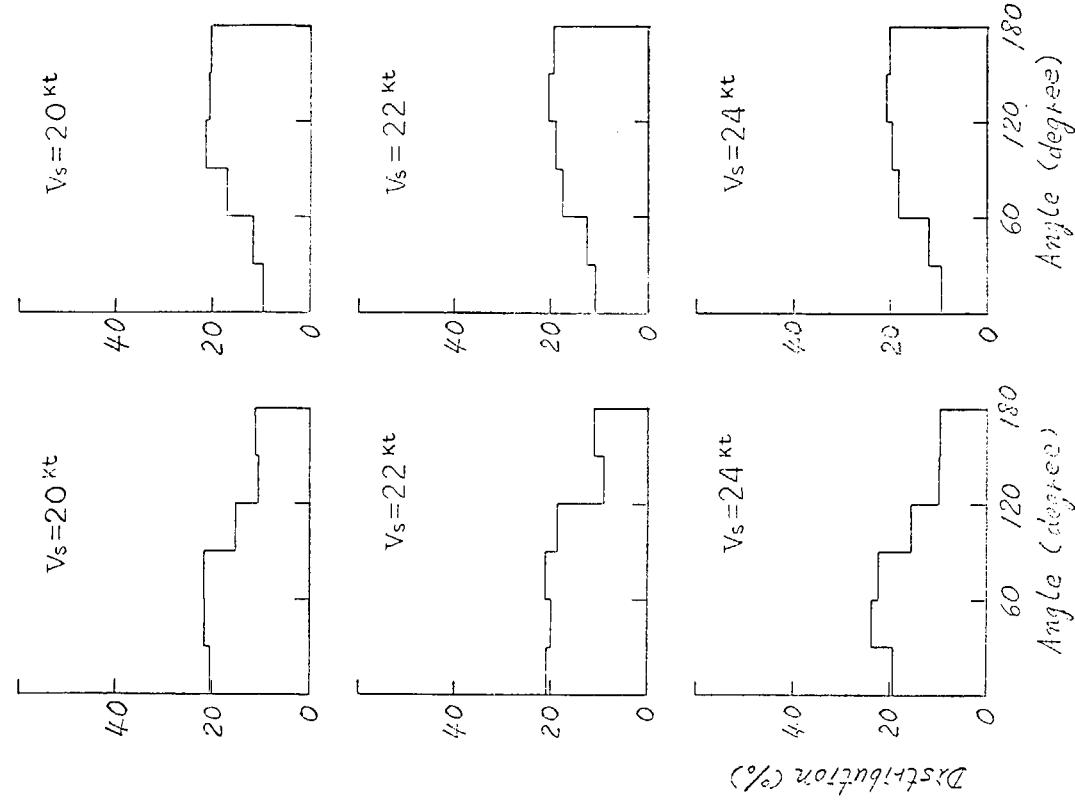


Fig. 2.5.20 西経 170° 通過時の緯度

Fig. 2.5.21 船と波との出会い角

Winter (outward)

Winter (homeward)

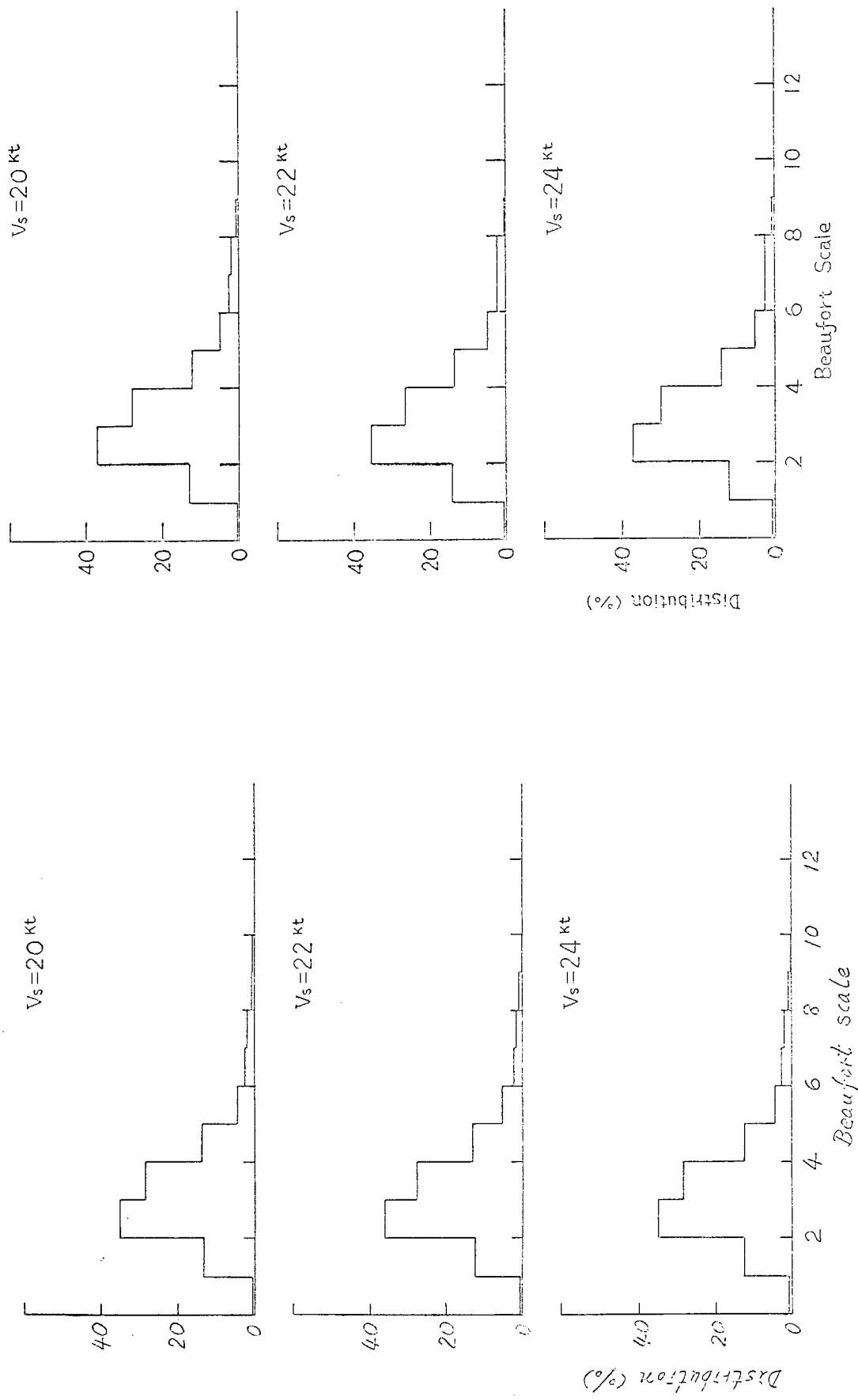


Fig 2.5.22 遭遇海象

Fig 2.5.23 遭遇海象

Winter (SR125, Observation)

Winter (outward)

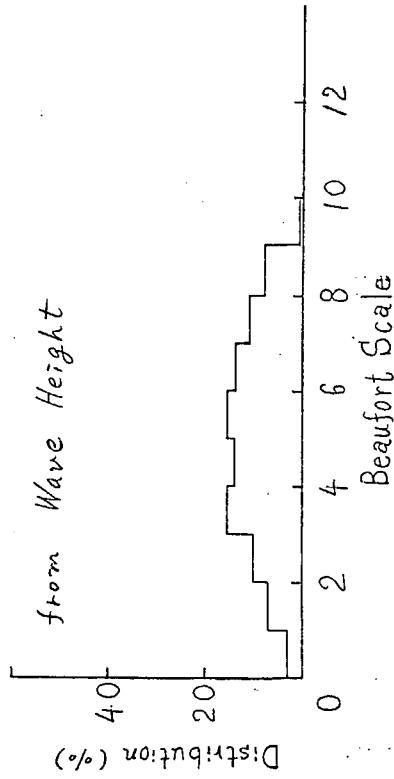
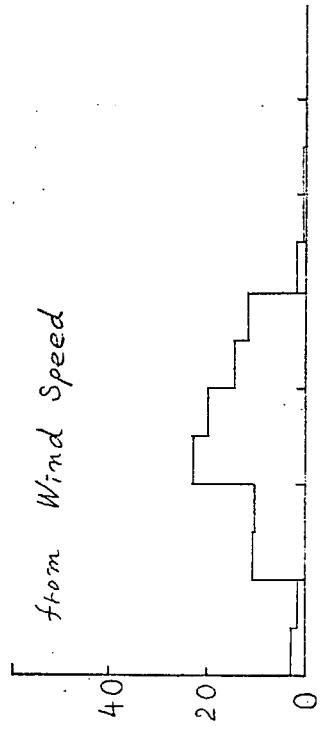


Fig 2.5.24 遭遇海象

$V_s = 20 \text{ kt}$

$V_s = 22 \text{ kt}$

$V_s = 24 \text{ kt}$

Distribution (%)

Speed (kt)

Fig 2.5.25 6時間ごとの平均船速

Winter (homeward)

Winter (outward)

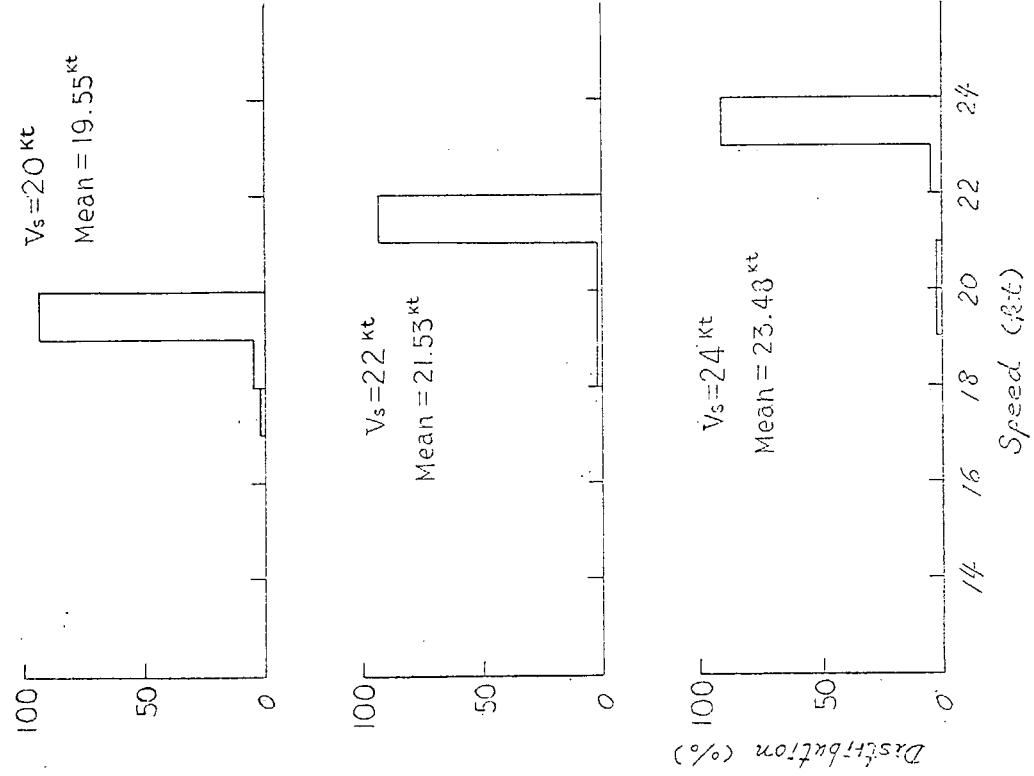
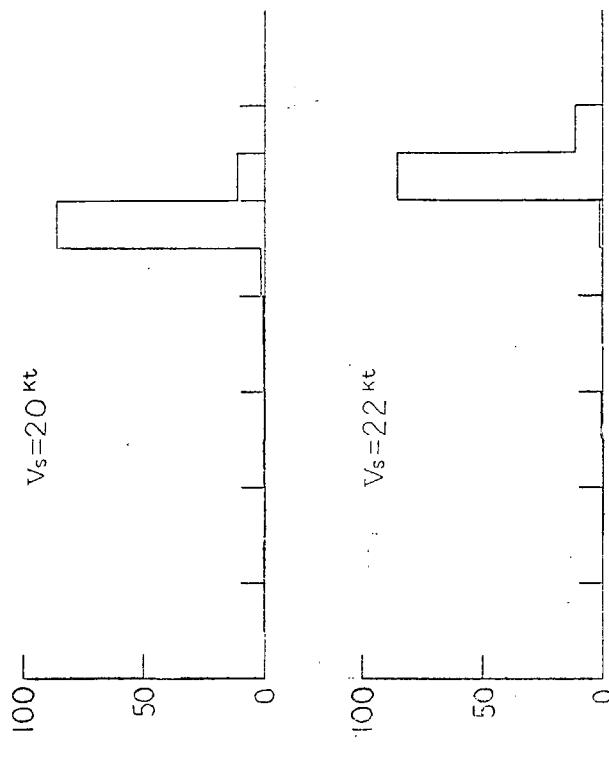
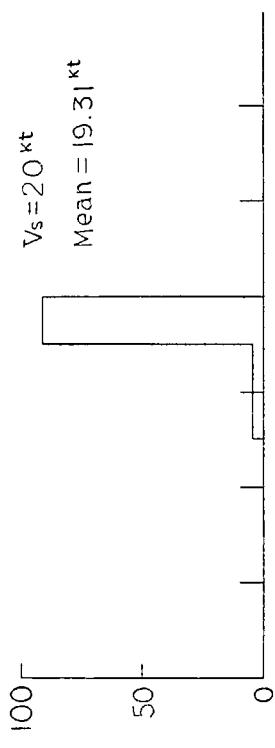


Fig 2.5.26 6時間ごとの平均船速

Fig 2.5.27 平均船速

Winter (homeward)



Winter (outward)

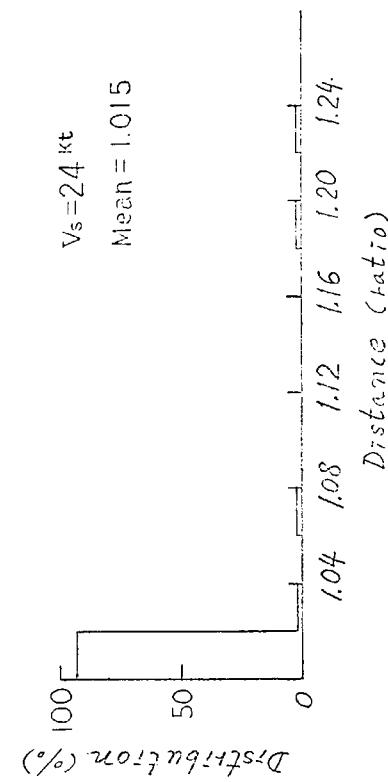
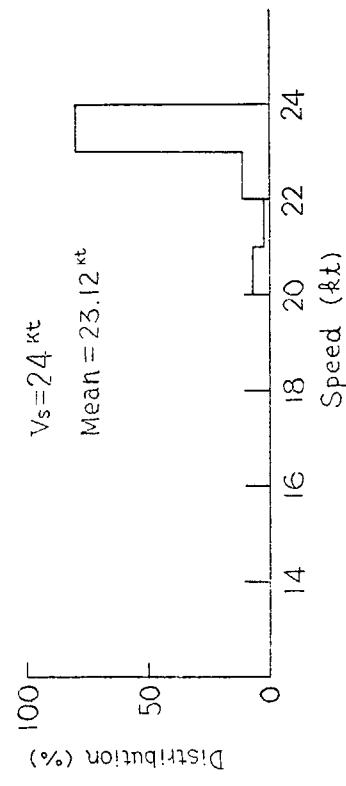
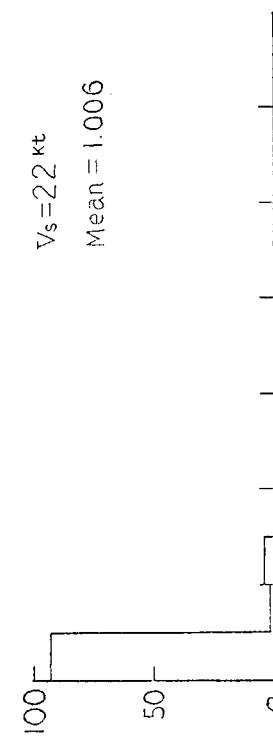
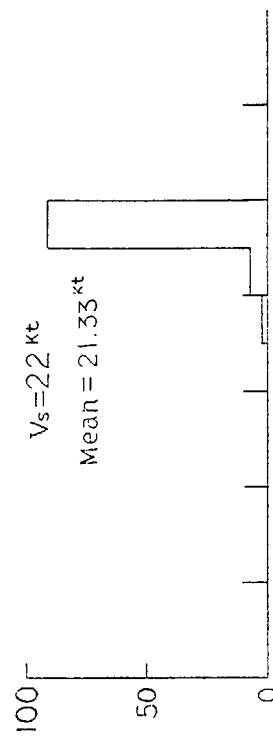
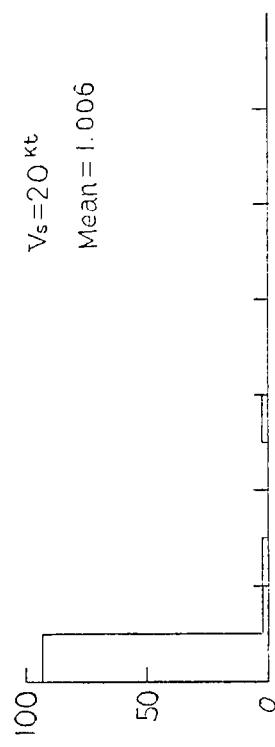


Fig 2.5.2.8 平均船速

Fig 2.5.2.9 航程系数

Winter (homeward)

Winter (outward)

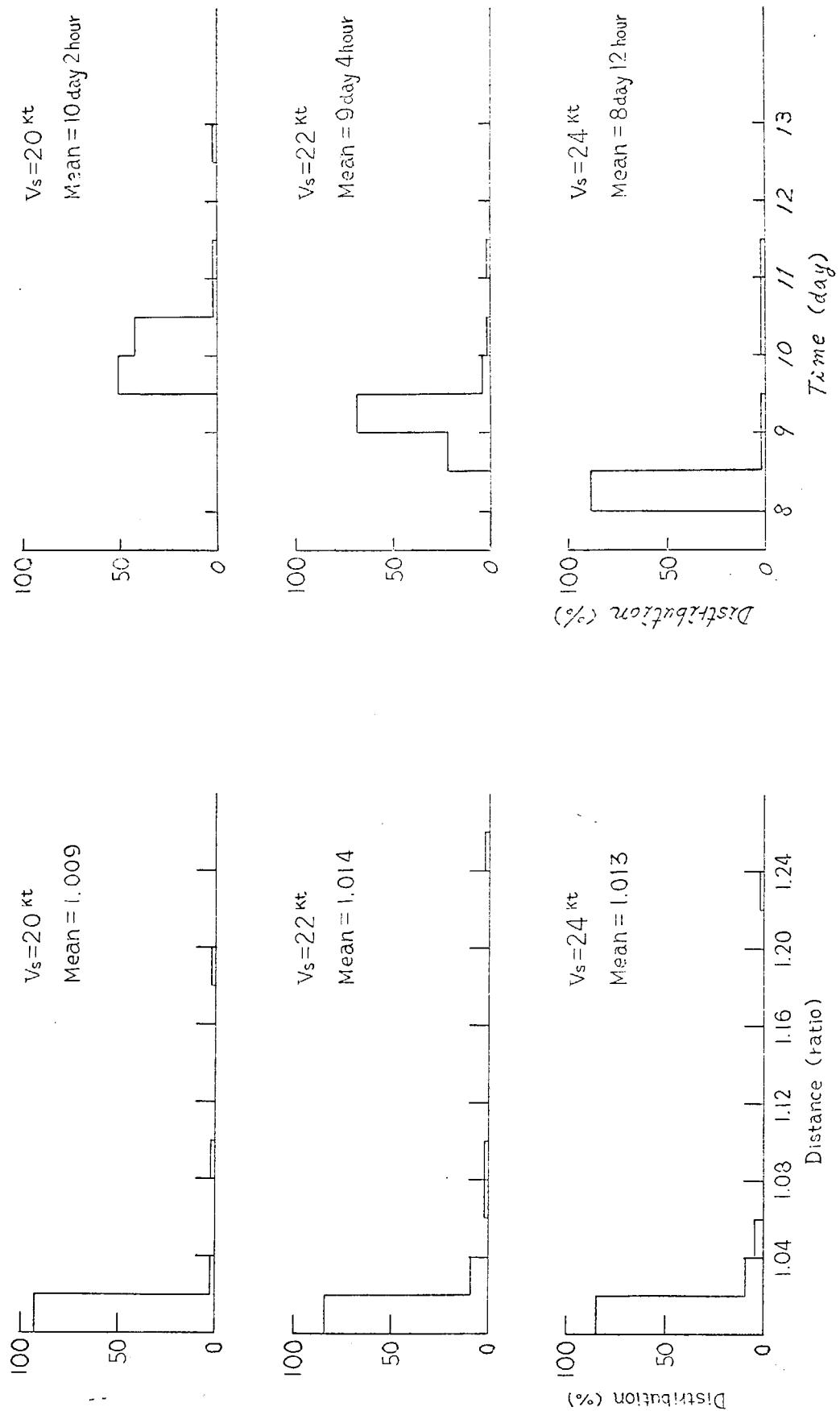


Fig 2.5.30 航程系数

Fig 2.5.31 航行日数

Winter (homeward)

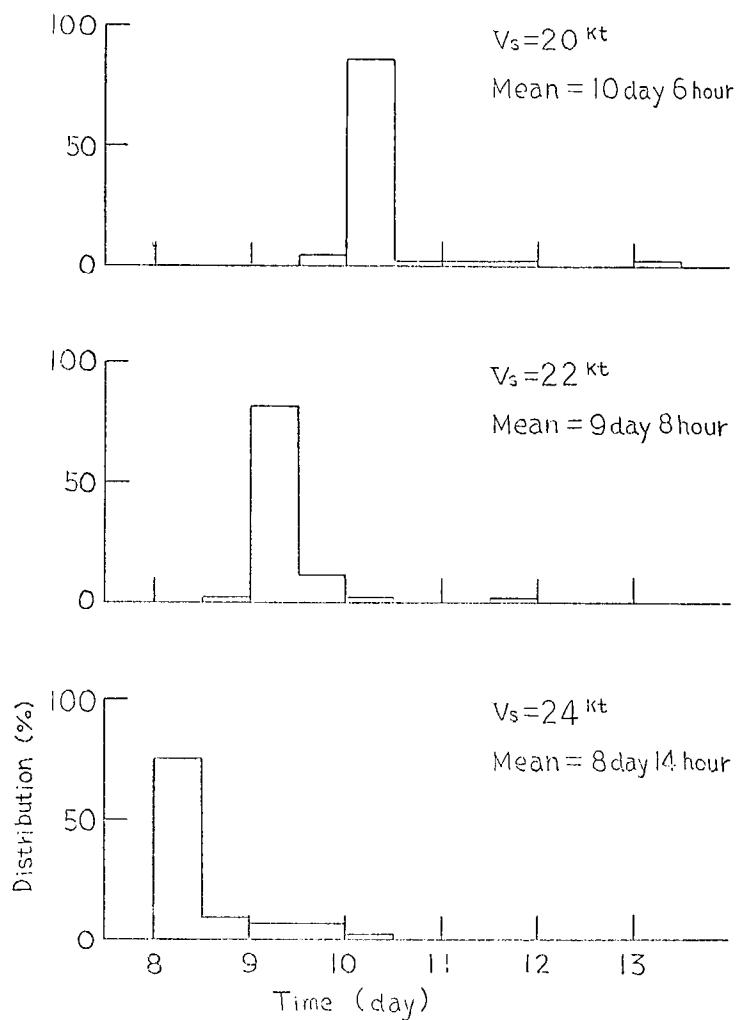


Fig 2.5.3.2 航行日数

3. 模 型 実 験

3.1 斜め波による船体の縦曲げ、横曲げおよび捩りモーメントの計測

3.1.1 は し が き

コンテナ船は細長い船型をしているうえ、甲板の開口が大きいため、波浪による船体の曲げやねじりを精确に推定し設計にとり入れることが切望されている。波浪による横曲げモーメントやねじりモーメントに関する模型実験はいくつか行なわれており、またストリップ法に基づく理論計算も行なわれ、両者の比較はある程度よく一致することが示されている。しかし、出会い角や船速の広い範囲について比較したものは見当らず、コンテナ船の設計に反映させるにはまだ十分とはいえない。そこで、コンテナ船の模型を用い斜め波中の波浪荷重の応答特性を実験的に求めるとともに、理論計算と比較できるデータを提供することとした。

3.1.2 実 験 方 法

(1) 対 象 船

実験の対象とした船型はSR108の1軸コンテナ船型 ($L/B = 6.89$) である。吃水は模型船の排水量の関係から従来とられた常備状態にはできなかつたので、計画満載状態とした。供試模型船は長さ 4.5 m で、船体中央で前後に切断され、Fig. 3. 1. 1 のように荷重測定装置で連結されている。前後に二分された船体は、荷重測定装置で連結されて一体とした場合、ならびに前半・後半のそれについて、重量・重心の前後位置の計測、さらにブランコ方式による縦および横の慣性モーメントの計測が行なわれた。Fig. 3. 1. 2 に慣性モーメント計測の様子を示し、Table 3. 1. 1 は計測値である。連結された前後の船体の隙間に Fig. 3. 1. 3 に示すように防水ゴム幕と整流ゴム幕が設けられている。防水ゴム幕は船内に水が入るのを防ぐもので、前後の船体切口にそれぞれ厚さ 1 mm、巾 50 mm 程の軟らかいゴム帯をはり着け、ゴム帯の他端を互に接着して防水幕とした。整流ゴム幕は連結部の船体の間隙により船側の水流が乱れるのを防止するために、間隙をカバーする薄いゴム幕で、船首側だけ固定されている。

(2) 計測装置

本実験で計測された計測項目は、船体動揺として縦揺れ・横揺れ・船首揺れの 3 項目、および縦曲げモーメント・横曲げモーメント・捩りモーメントの 3 方向のモーメント、ならびに波高・波長・船速・波との出会い角度などである。荷重測定装置は前後の船体を連結すると同時に、前後船体間に働く縦曲げモーメント・横曲げモーメントならびに捩りモーメントを測定するもので、縦曲げモーメントと横曲げモーメントは抵抗線歪計により、また捩りモーメントは磁歪式により電気的に検出される。荷重測定装置で連結された船体の縦曲げ、横曲げ、および捩りの固有振動数は Table 3. 1. 1 に示すように 5.435 Hz, 5.556 Hz, および 11.236 Hz であつた。Fig. 3. 1. 4 に荷重測定装置の概要を、また Photo 3. 1. 1 に船体切断面(船首側)を示した。船体の縦揺れと横揺れの検出にはバーチカルジャイロを、また船首揺れの検出にはフリージャイロを用いた。

(3) 実験状態

実験は船舶技術研究所の角水槽で行なわれた。使用した波は規則波で、波長は波長／船長 (λ/L) が 1.25, 1.0, 0.75, 0.5 (以上は波高 1.0 cm) および 0.35 (波高 6.1 cm) の 5 種類、出会い角度は 180° (向い波) から 30° まで 30° 間隔とし、船速は Fn で 0.15 から 0.30 の間数種類である。

3.1.3 実 験 結 果

(1) 解 析 法

船体動揺および縦曲げ・横曲げ・捩りモーメントのデータは模型船からテレメータで電送され、ペン書きオッショで記録された。これらの記録から振巾の平均値を読みとり、その値を各出会い角度ごとに波長をパラメータとした船速に対する振巾の応答を求め、さらにこの図から Fn が 0.20, 0.25, 0.30 に対応する値を求めた。実験結果の振巾応答には次のように無次元化した値を用いる。

$$\text{縦揺れ} \quad \mu\theta = \theta a / k\zeta a$$

$$\text{横揺れ} \quad \mu\phi = \varphi a / k\zeta a$$

$$\text{船首揺れ} \quad \mu\psi = \psi a / k\zeta a$$

ここに θa : 縦揺振巾 φa : 横揺振巾 ψa : 船首揺振巾 ζa : 波振巾

$$k\zeta a : \text{最大波傾斜} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\text{縦曲げモーメント} \quad C_V = M_V / (\rho g L^2 B \zeta a)$$

$$\text{横曲げモーメント} \quad C_L = M_L / (\rho g L^2 B \zeta a)$$

$$\text{振りモーメント} \quad C_T = M_T / (\rho g L^2 B \zeta a)$$

ここに M_V : 縦曲げモーメントの変動振巾

M_L : 横曲げモーメントの変動振巾

M_T : 振りモーメントの変動振巾

L : 船長

B : 船巾

(2) 船体動揺

船速が $F_n = 0.20, 0.25, 0.30$ の場合の縦揺応答曲線を Fig. 3.1.5 ~ 3.1.7 に示した。縦揺れは向い波のとき最も大きく、斜め向い波、斜め追波の順に小さくなる。また波長が短かいときより波長が長い場合に大きくなる。船速の影響は向い波に近いときに幾分見られるが、 120° 以下ではほとんど見られない。

Fig. 3.1.8 ~ 3.1.10 は $F_n = 0.20, 0.25, 0.30$ のときの横揺応答を示したもので、一般に出会角度 60° のときに大きく、船速が増すと短かい波でも大きく揺れるようになる。 60° 以外の出会角度での横揺応答は小さいが、 F_n が 0.25 で出会角度が 120° のとき λ/L が 1.0 附近で割合大きな応答を示している。これは、このときの出会周期が横揺れの固有周期の半度 $1/2$ であり、同調横揺れが起つているためである。

Fig. 3.1.11 ~ 3.1.13 に $F_n = 0.20, 0.25, 0.30$ のときの船首揺れ応答を示した。船首揺れは出会角度 60° ~ 30° の追波のときに大きく、横波や向い波では小さい。また、斜め追波のときの船首揺れは船速が増すにつれて大きくなる。

(3) 縦曲げモーメント

Fig. 3.1.14 は $F_n = 0.25$ のときの縦曲げモーメントとの振巾を出会角度に対してプロットした図である。この図から、縦曲げモーメントの応答は波長が短かい ($\lambda/L = 0.35, 0.5$) 場合には横波あるいは横波に近い斜め波のとき大きな値を示すが、波長が長くなると横波のときの応答が小さく、向い波や斜め波のとき大きな応答をすることがわかる。Fig. 3.1.15 ~ 3.1.17 は $F_n = 0.20, 0.25, 0.30$ の場合の波長に対する縦曲げモーメントの応答の様子を示したもので、縦曲げモーメントに対する船速の影響は少ない。

(4) 横曲げモーメント

Fig. 3.1.18 に出会角度に対する横曲げモーメントの応答を $F_n = 0.25$ の場合について示した。この図から横曲げモーメントはどの波長の波に対しての出会角度が 120° あるいは 60° 附近のときに大きな応答を示すが、横波のときの応答はきわめて小さいことがわかる。船速が F_n で $0.20, 0.25, 0.35$ のときの横曲げモーメントの波長に対する応答を示すと、Fig. 3.1.19 ~ 3.1.21 のようである。横曲げモーメントは船速による影響はあまり見られず、出会角度 120° と 60° , 150° と 30° の応答の様子は、その値も傾向もよく似ている。前者の応答の最大値は後者の最大値のほぼ 2 倍である。また、縦曲げモーメントが $\lambda/L = 1$ あたりで最大値を示したのに対し、横曲げモーメントの最大値を示すのは $\lambda/L = 0.5 \sim 0.35$ 附近であり、横曲げモーメントの最大値は縦曲げモーメントの最大値とほぼ同じオーダーである。

(5) 振りモーメント

$F_n = 0.25$ の場合の出会い角度に対する振りモーメントの応答を Fig. 3.1.22 に示した。出会い角度に対する振りモーメントの応答は横曲げモーメントの場合と同様に、出会い角度 120° および 60° 附近の斜め波中で大きい。 120° での振りモーメントの応答の大きさは波長により非常に差がある（波長が短かいほど大）が、 60° の場合には波長による差は少ない。Fig. 3.1.23 ~ 3.1.25 は波長に対する振りモーメントの応答の様子を $F_n = 0.20, 0.25, 0.30$ の場合について示したもので、出会い角度が 120° では船速が増すにつれて応答も大きくなる様子が見られるが、その他の出会い角度では船速の影響は少ない。

3.1.4 考察

(1) 理論計算値との比較

Fig 3.1.26 は $F_n = 0.25$ の場合の横曲げモーメントの理論計算値と実験値を比較したもので、両者の値はかなり近いものが得られている。

(2) 動搖とモーメントおよびモーメント相互間の関連

縦揺れと縦曲げモーメント、船首揺れと横曲げモーメント、横揺れと振りモーメント相互の間には密接な関連性があるように考えられるが、実験結果からは自立した関連性は見られない。これは計測された縦および横曲げモーメント、ならびに振りモーメントは、波浪から直接受ける力によるものが主であつて、船体動揺では前部船体と後部船体がほとんど同位相の運動をするために相対的変位が少なく、連結部に働くモーメントが小さいものと思われる。

船体に働く曲げモーメントを考える場合、横と縦との位相を考慮した合成曲げモーメントを対象にすべきである。この点については今後さらに検討する予定である。

3.1.5 むすび

本章では、波浪による船体のねじりおよび曲げモーメントの実験結果を主として述べたものである。

理論計算との対比や、波浪荷重と船体動揺あるいは、波浪荷重相互間の関連についてはなお今後研究をすすめる予定である。

Table 3.1.1 供試模型船要目表

要 目	実 験 状 態	備 考
$L \times B \times d$ (m)	$4.5 \times 0.653 \times 0.244$	
重量及び重心位置	$w, \ell_{G\otimes}$ $w_A \ell_{A\otimes}$ $w_F \ell_{F\otimes}$	$410.4 (\text{kg}) - 0.064 (\text{m})$ $216.6 (\text{kg}) - 0.768 (\text{m})$ $193.8 (\text{kg}) 0.723 (\text{m})$
縦慣性モーメント	I_{yyG} I_{yyGA} I_{yyGF} I_{yyZ} $I_{yy\otimes A}$ $I_{yy\otimes F}$	$38.23 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2), K_{yy}/L = 0.212$ $18.23 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$ $19.30 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$ $38.40 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$ $21.01 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$ $17.39 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$
横慣性モーメント	I_{xxG} I_{xxGA} I_{xxGF}	$19.83 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2), K_{xx}/B = 0.333$ $11.23 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$ $0.860 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Sec}^2)$
G M	0.030 (m)	
横 摆 固 有 周 期 T_R	2.65 (Sec)	
ビ ル ジ キ ル	$\ell_B \times h$ ℓ_{BA} ℓ_{BF}	$1.13 (\text{m}) \times 0.012 (\text{m})$ $0.62 (\text{m})$ $0.51 (\text{m})$
荷重測定装置軸高	キール上 0.242 (m)	K G の値と同じ
固 有 振 動 周 期	縦 方 向 横 方 向 握り方向	水 面 上 // //
	0.184 (Sec) (5.435 Hz)	
	0.180 (Sec) (5.556 Hz)	
	0.089 (Sec) (11.236 Hz)	

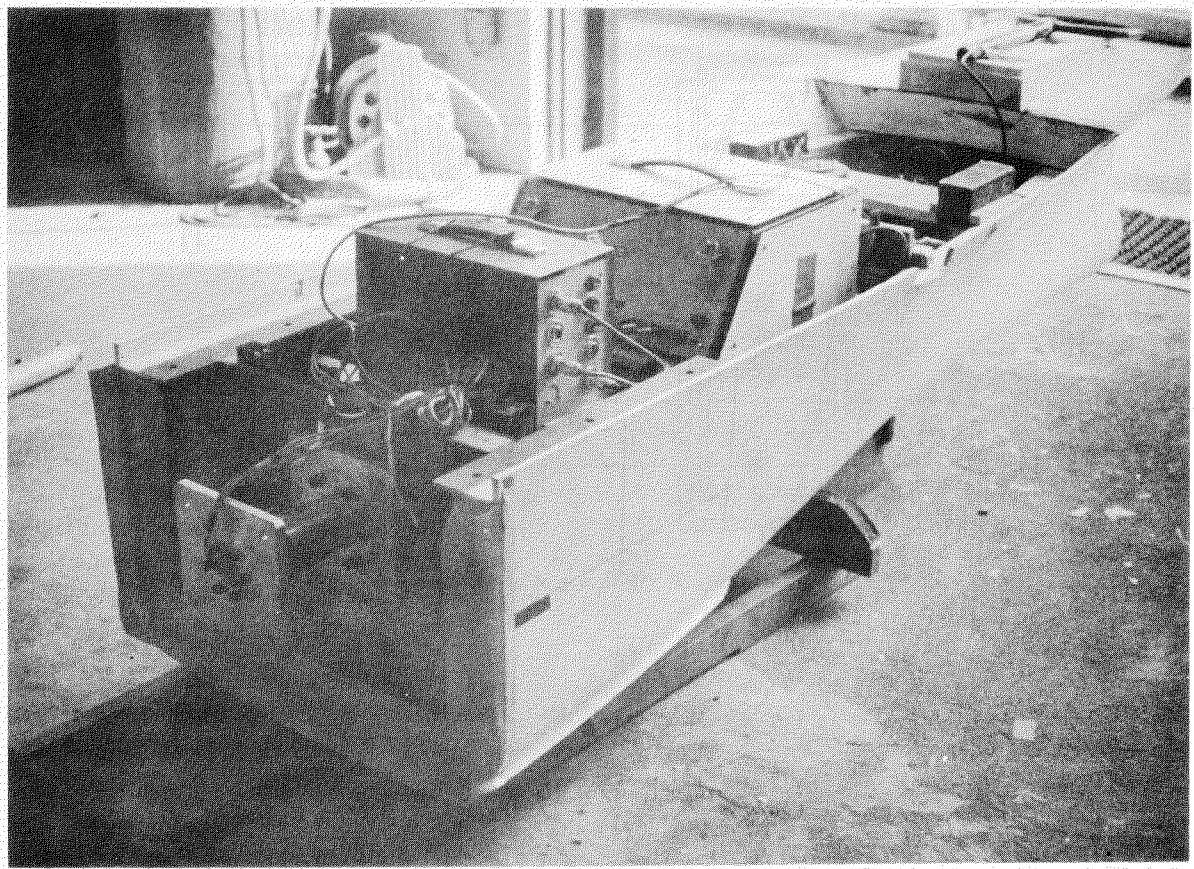


Photo 3.1.1 模型船切断面（船首側）

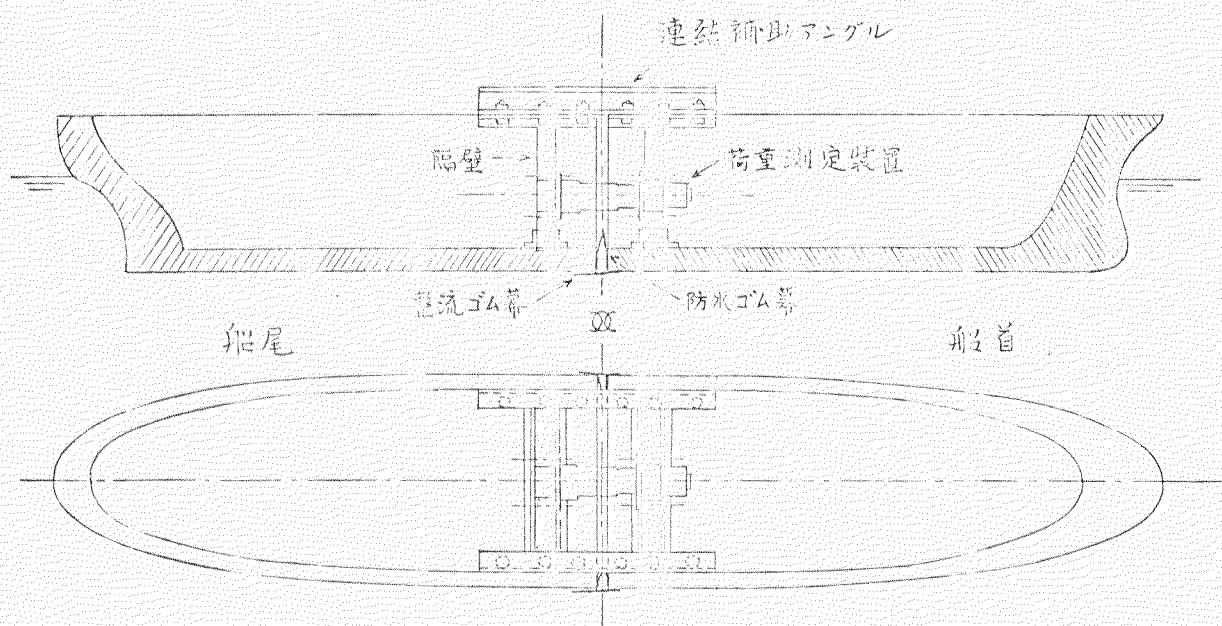


Fig 3.1.1 模型船の概要

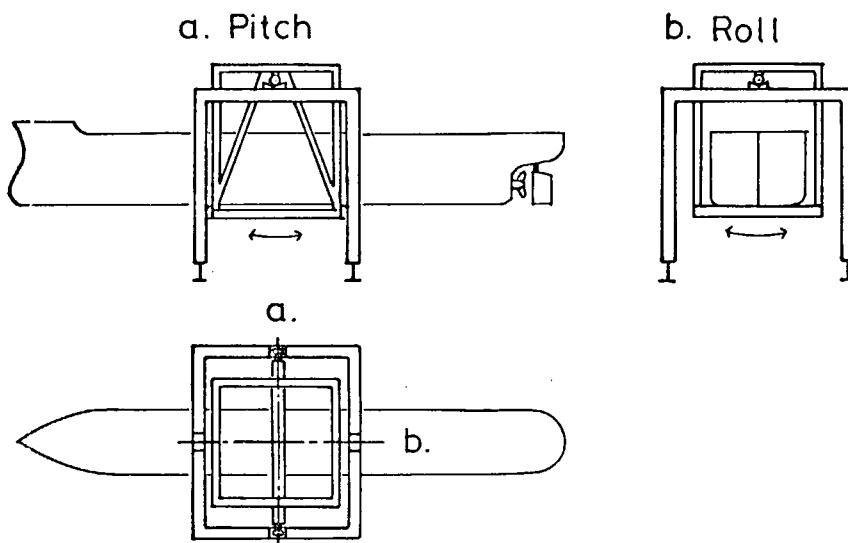


Fig 3.1.2 慣性モーメント計測

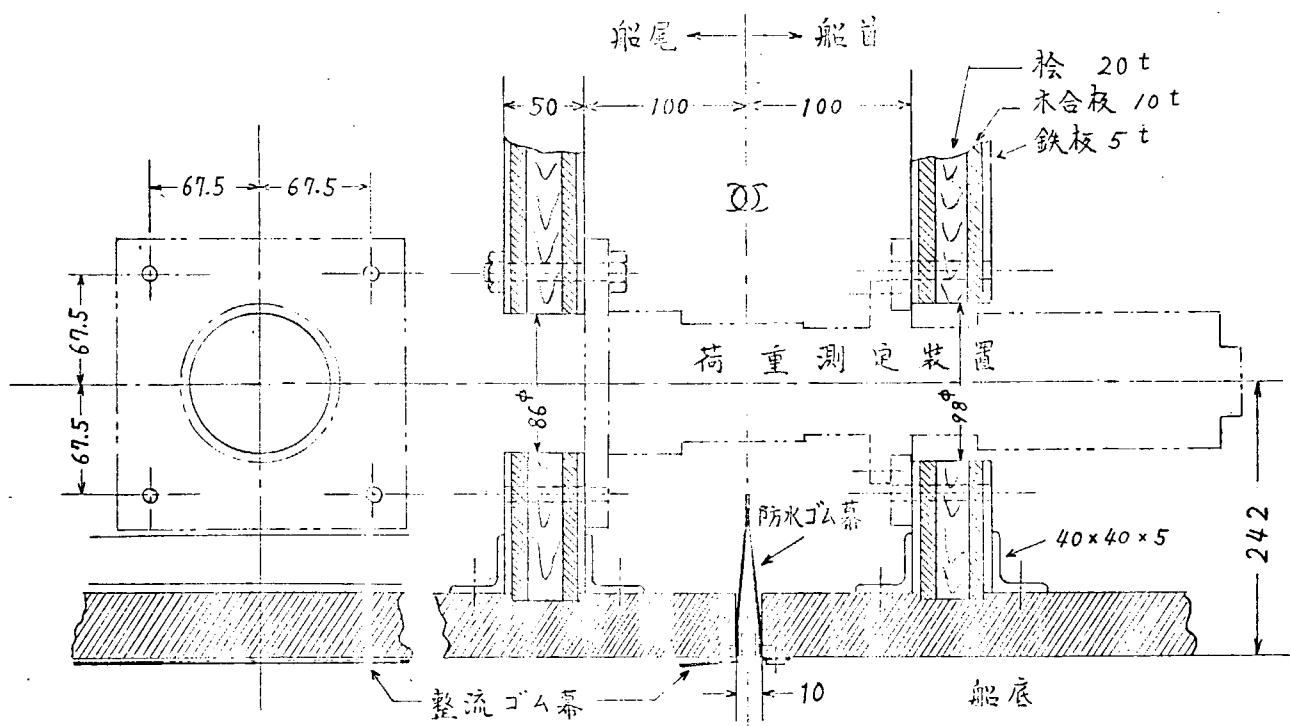


Fig 3.1.3 模型船切断部の概要

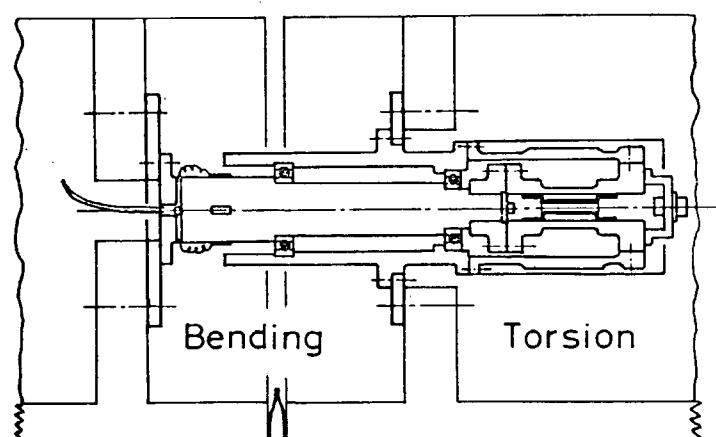


Fig 3.1.4 荷重測定装置の概要

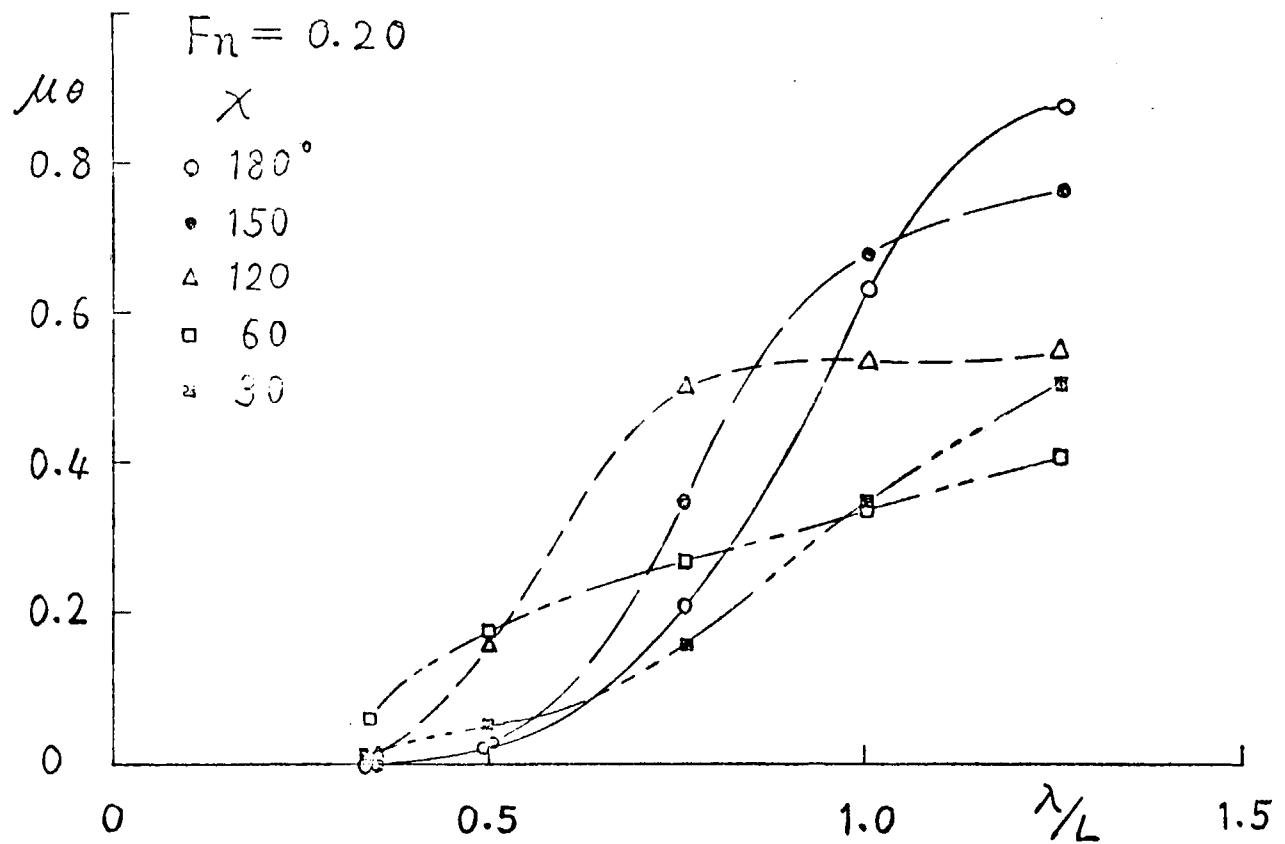


Fig 3.1.5 縦揺れ ($F_n = 0.20$)

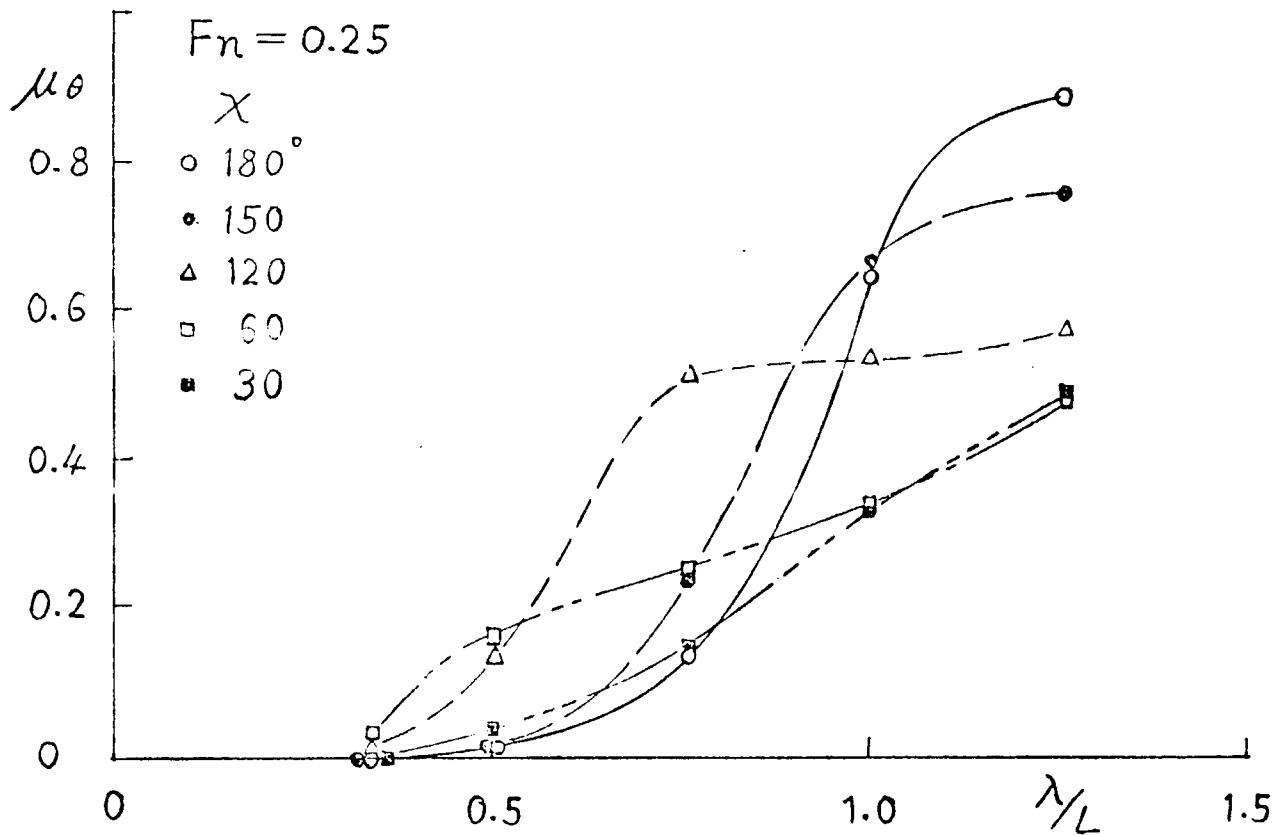


Fig 3.1.6 縦揺れ ($F_n = 0.25$)

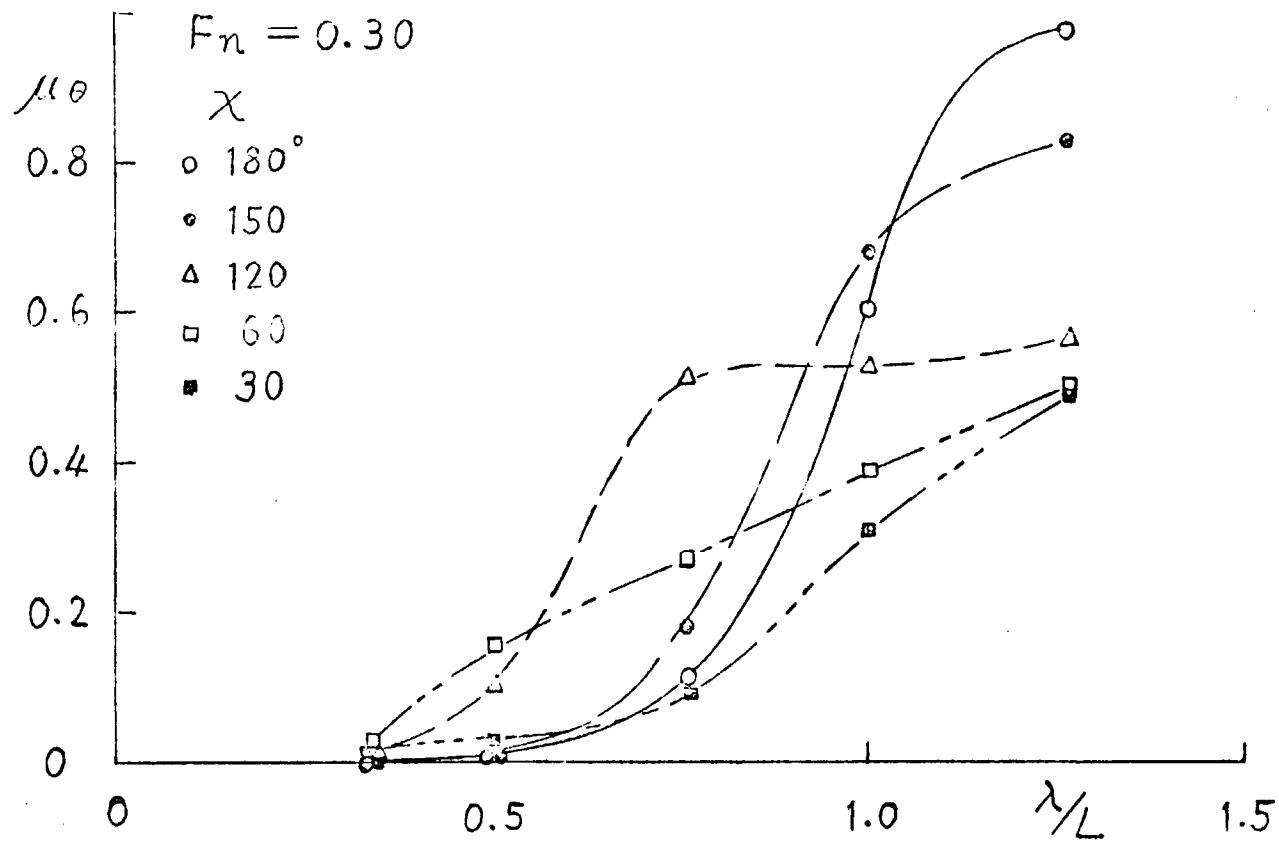


Fig 3.1.7 縦揺れ ($F_n = 0.30$)

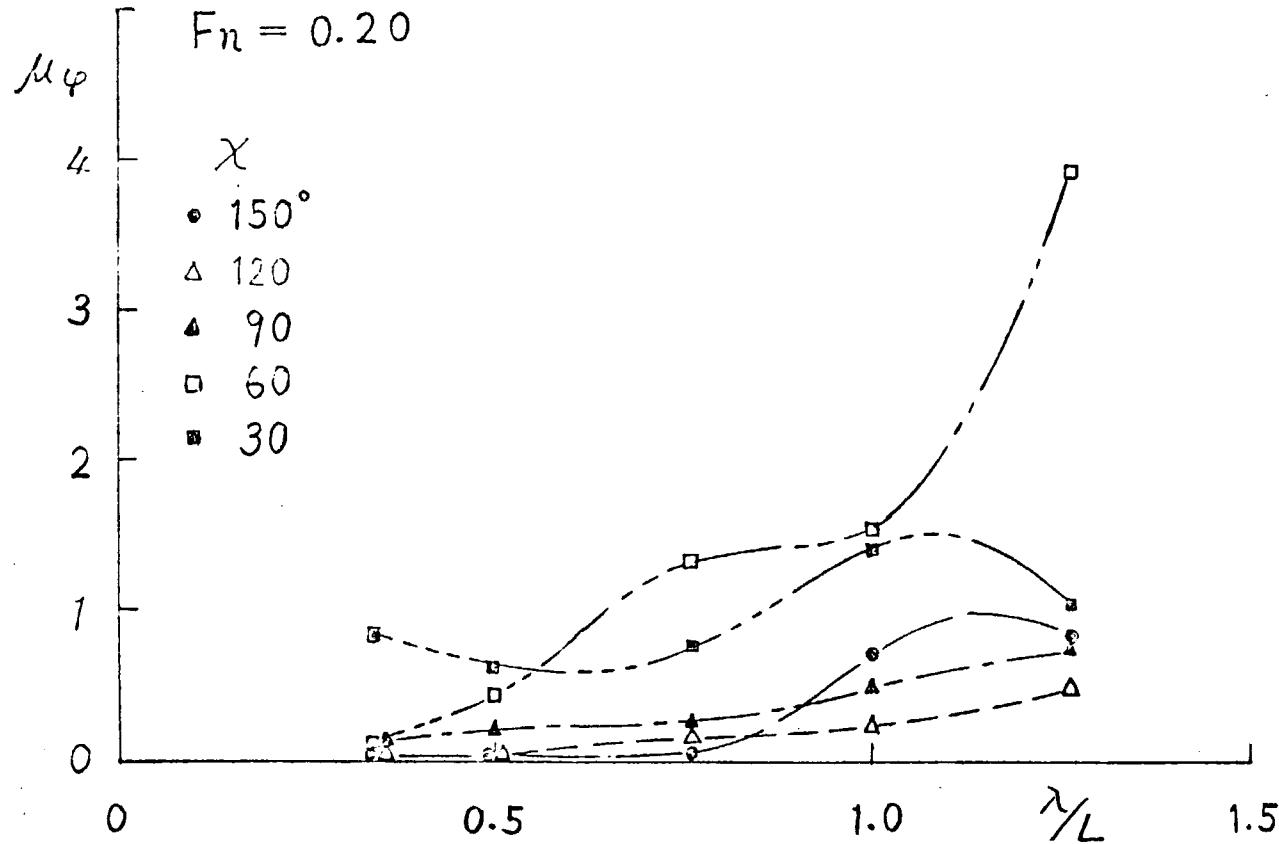


Fig 3.1.8 横揺れ ($F_n = 0.20$)

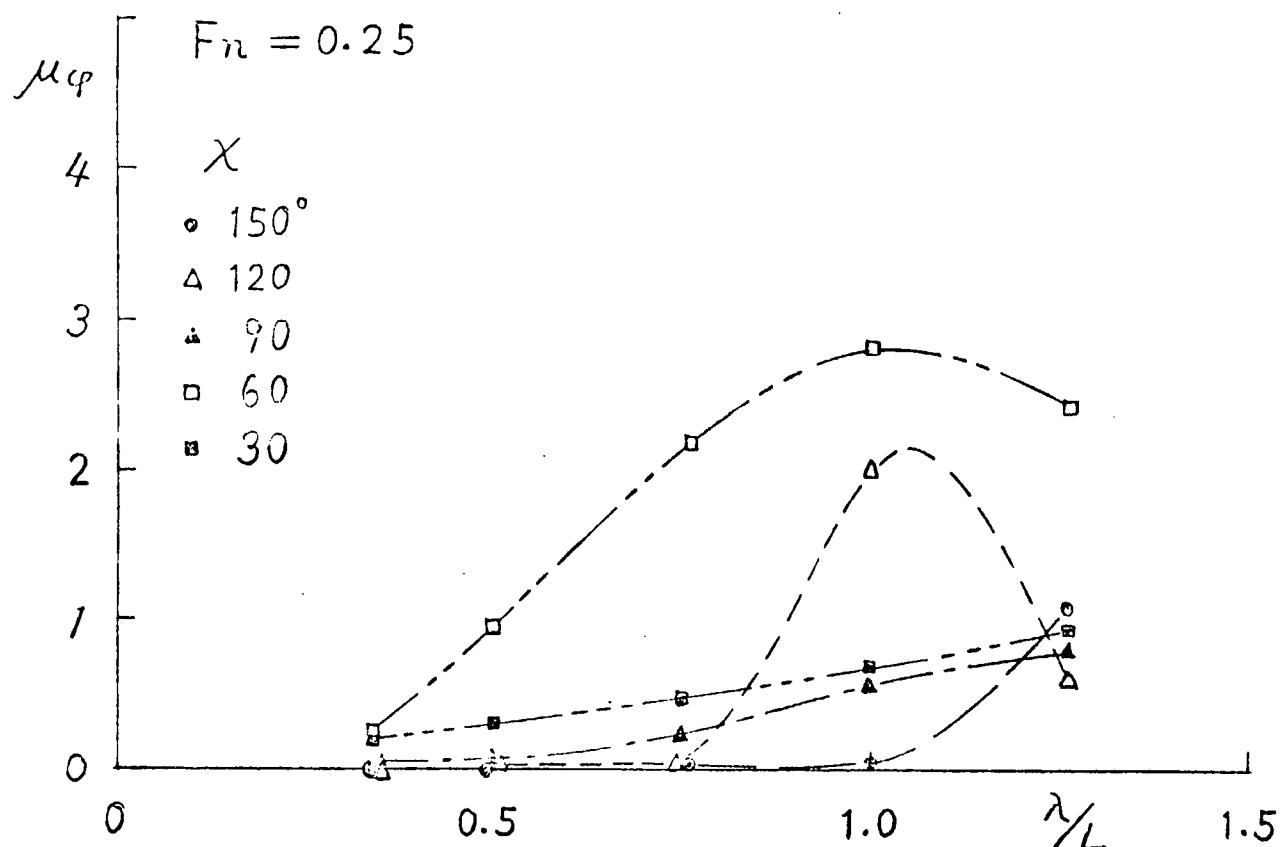


Fig. 3.1.9. 横揺れ ($F_n = 0.25$)

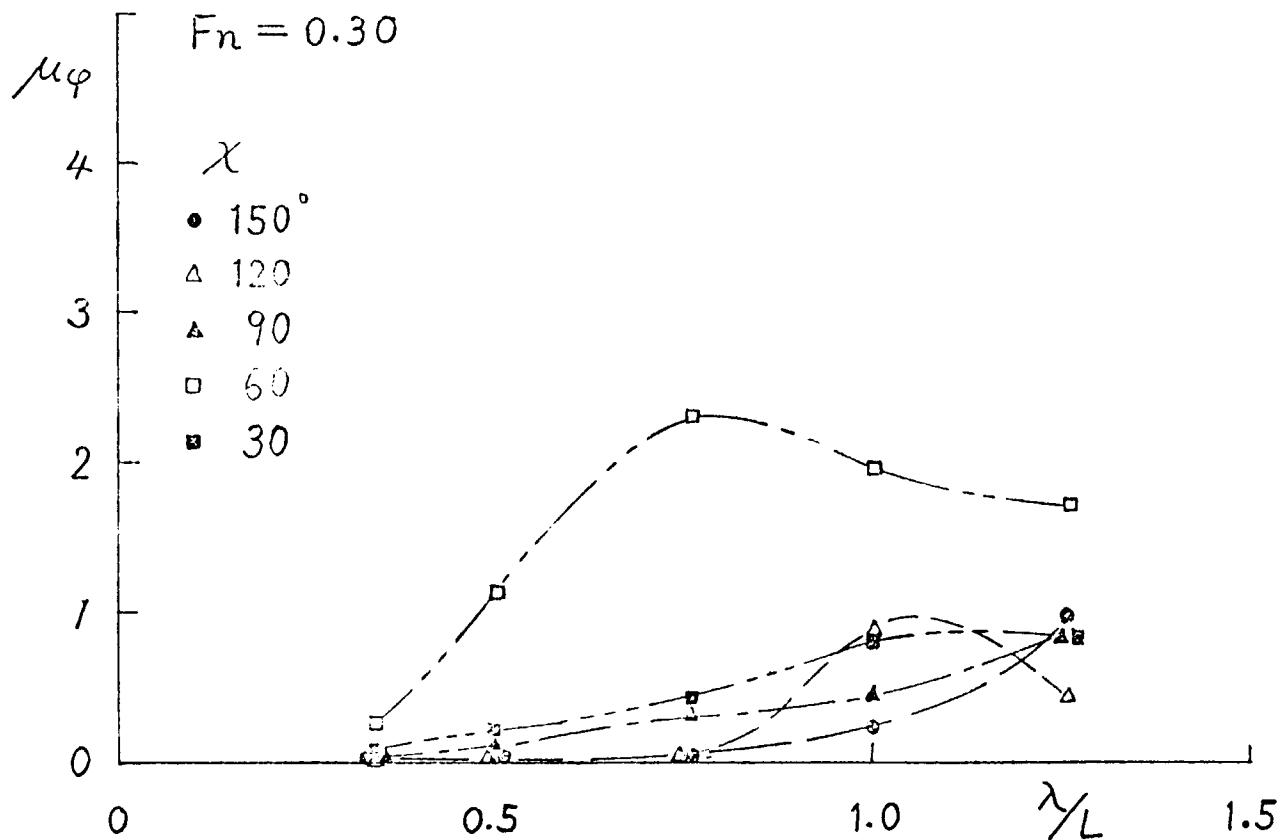


Fig. 3.1.10 横揺れ ($F_n = 0.30$)

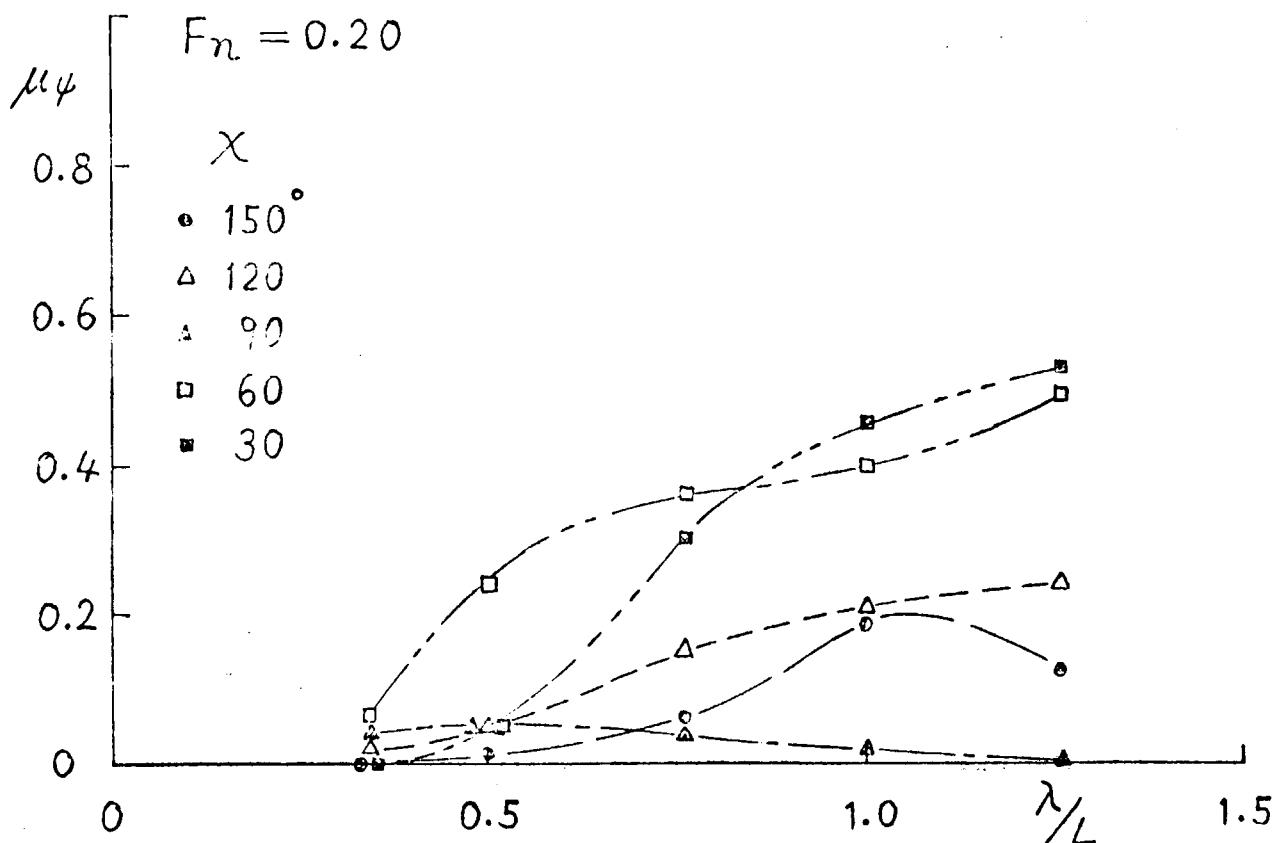


Fig 3.1.11 船首搖れ ($F_n = 0.20$)

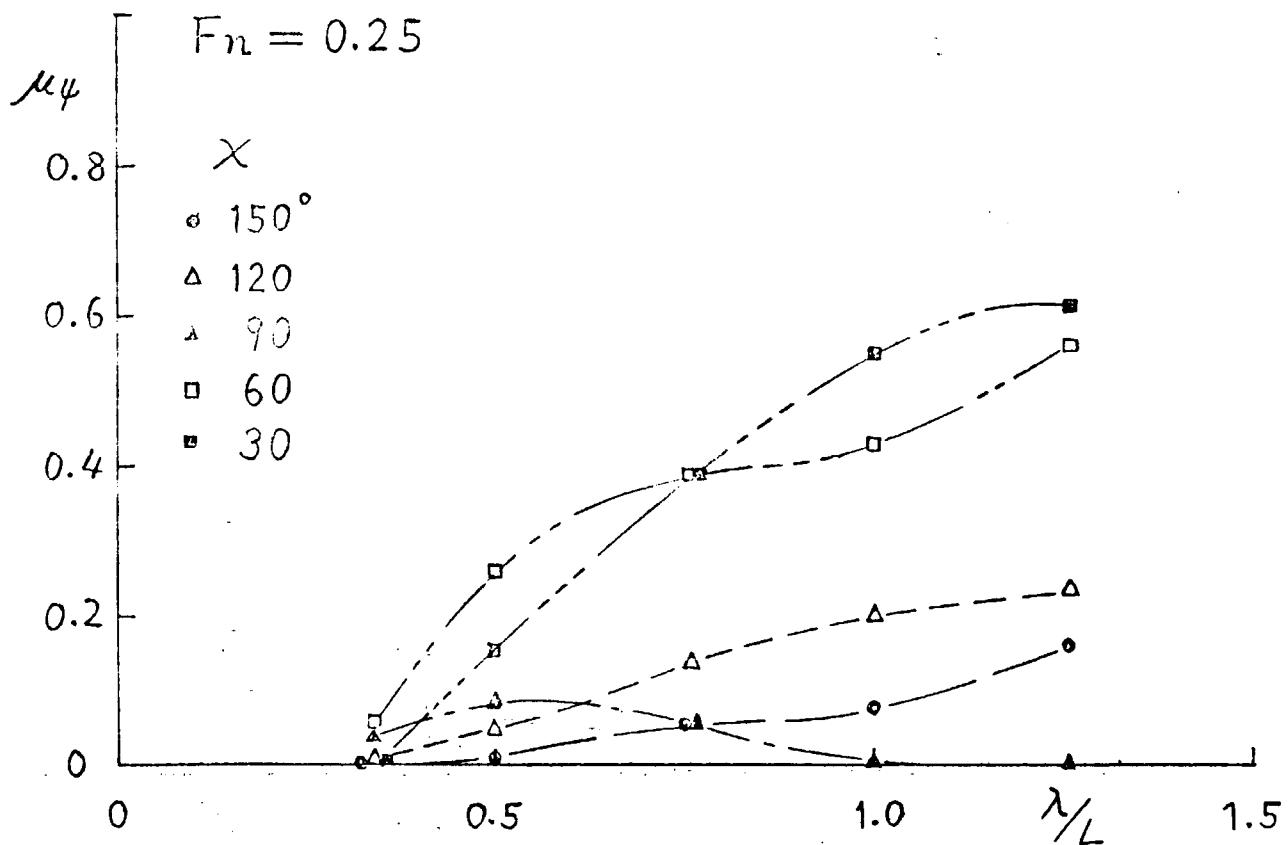


Fig 3.1.12 船首搖れ ($F_n = 0.25$)

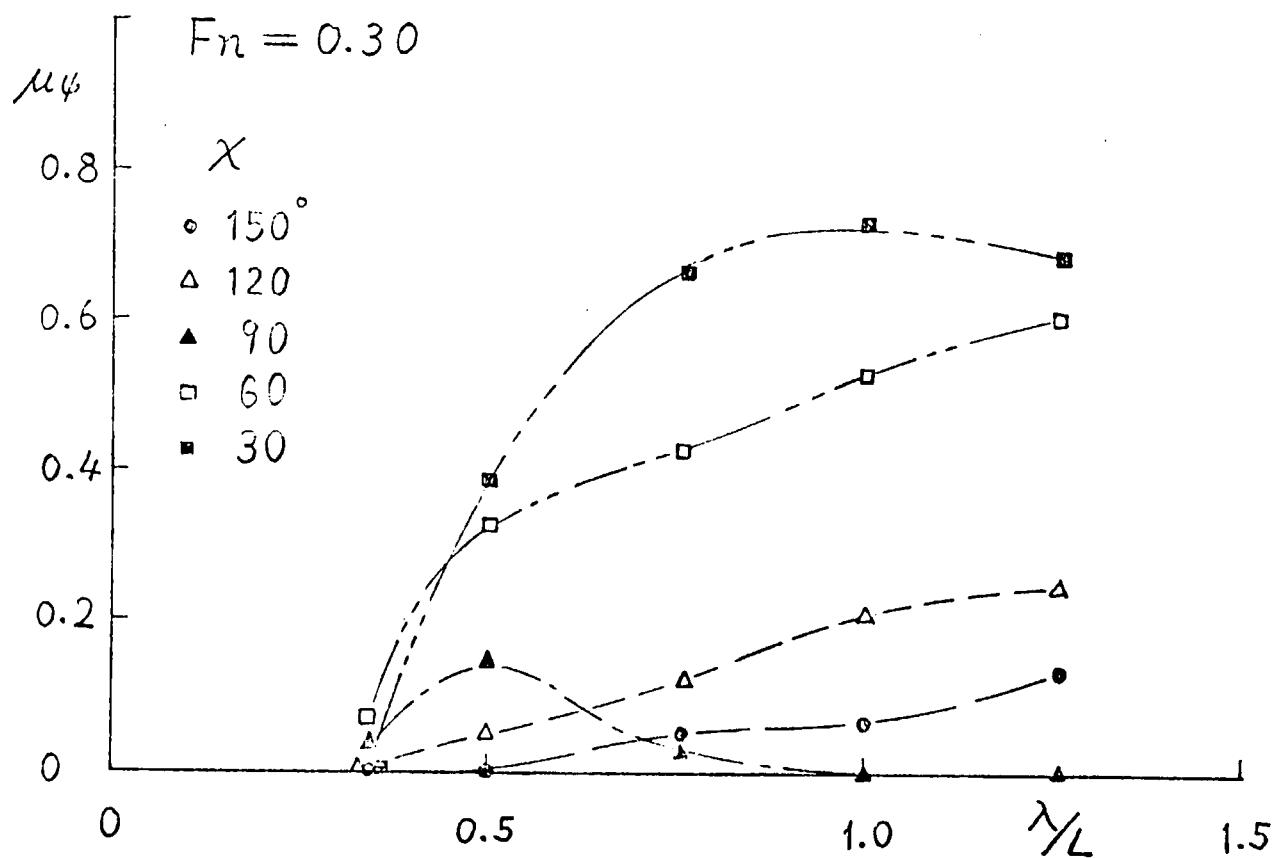


Fig. 3.1.13 船首揺れ ($F_n = 0.30$)

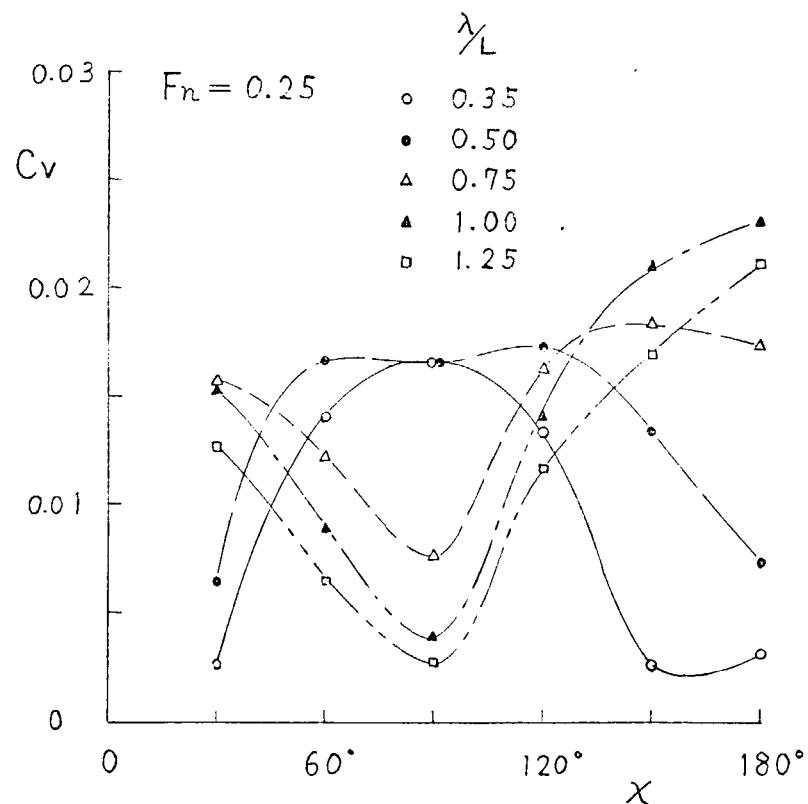


Fig. 3.1.14 縦曲げモーメント ($F_n = 0.25$)

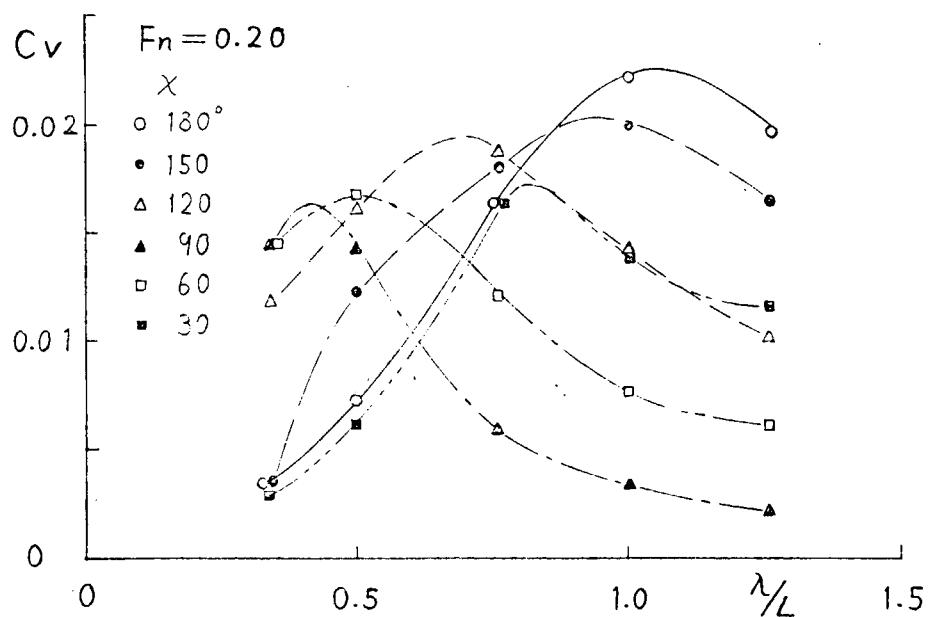


Fig 3.1.15 縦曲げモーメント ($F_n = 0.20$)

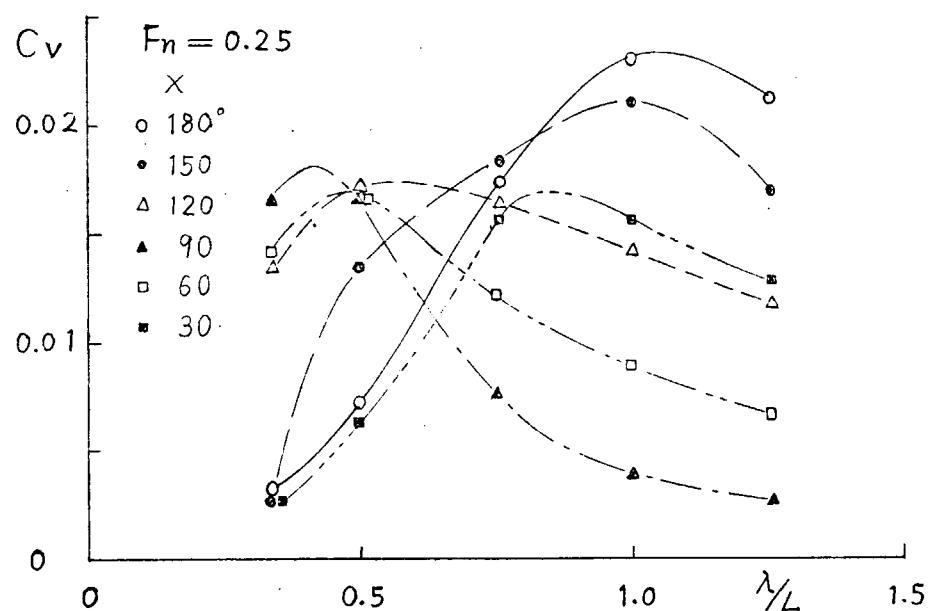


Fig 3.1.16 縦曲げモーメント ($F_n = 0.25$)

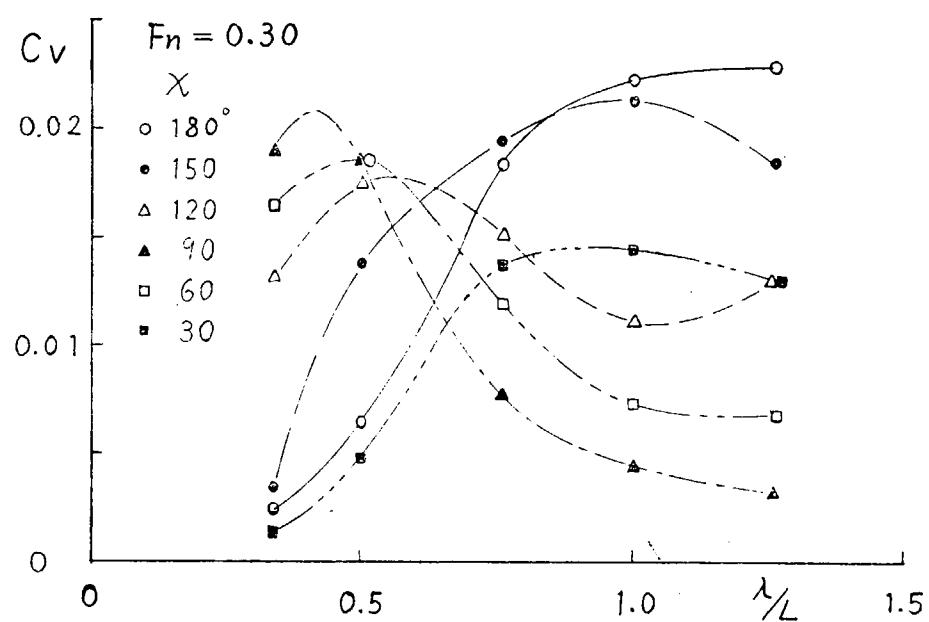


Fig 3.1.17 縦曲げモーメント ($F_n = 0.30$)

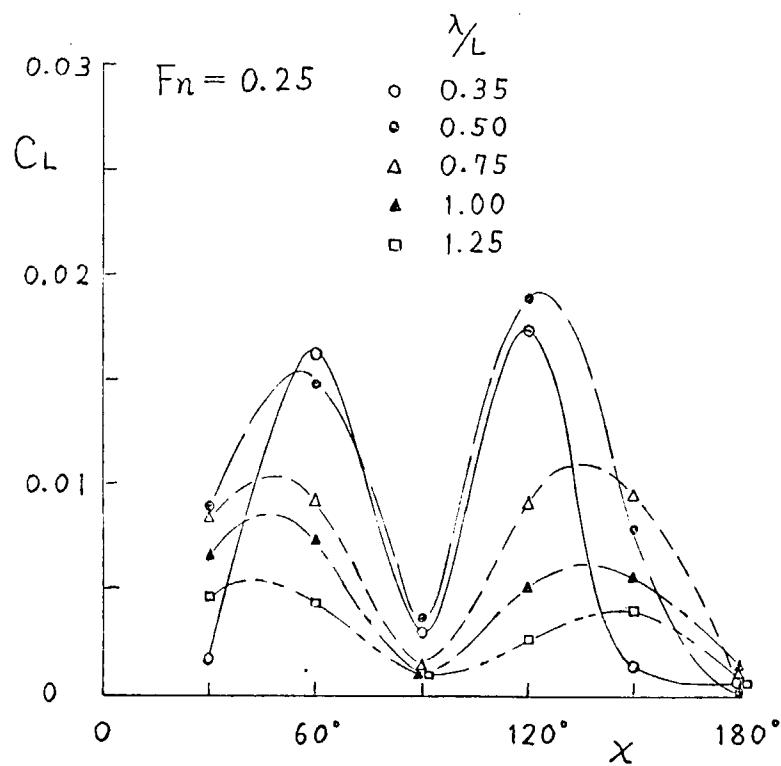


Fig 3.1.18 横曲げモーメント ($F_n = 0.25$)

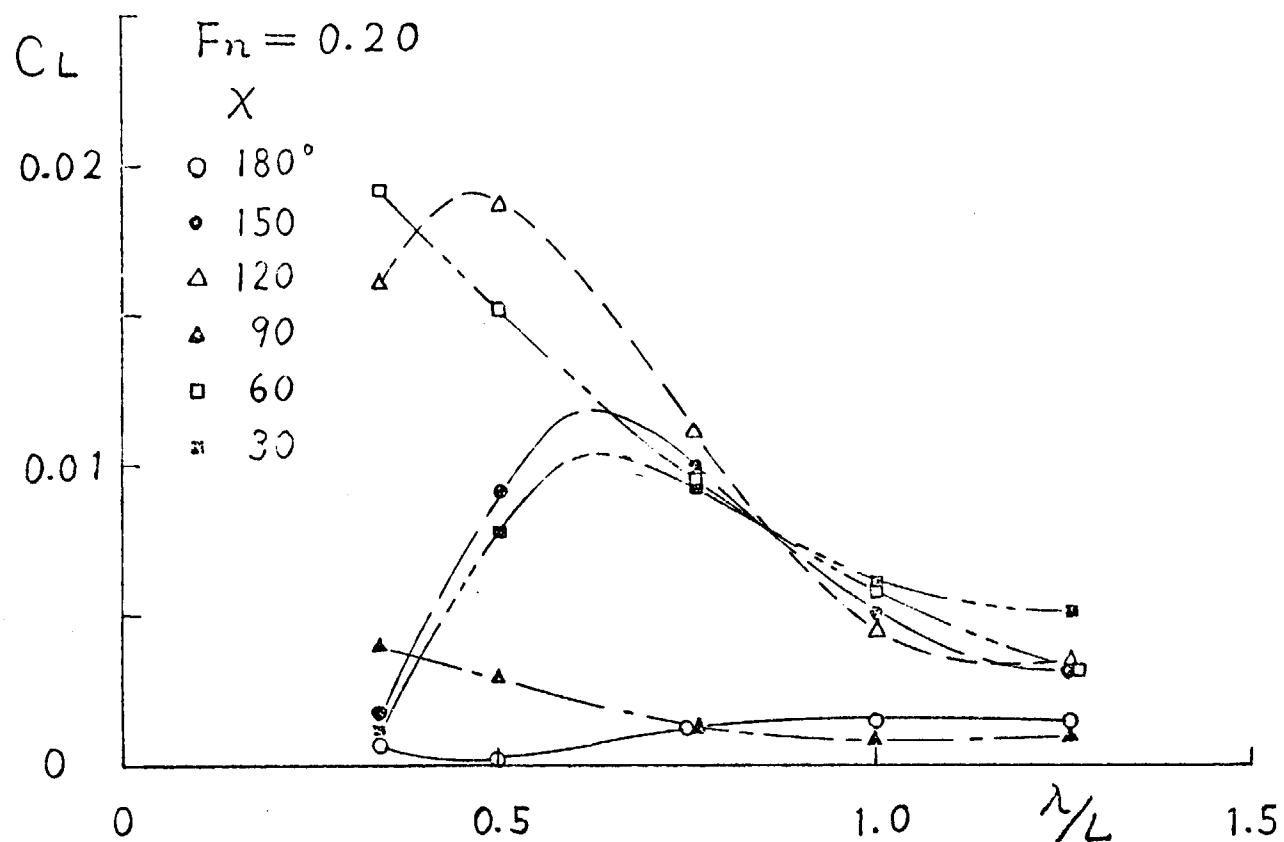


Fig 3.1.19 横曲げモーメント ($F_n=0.20$)

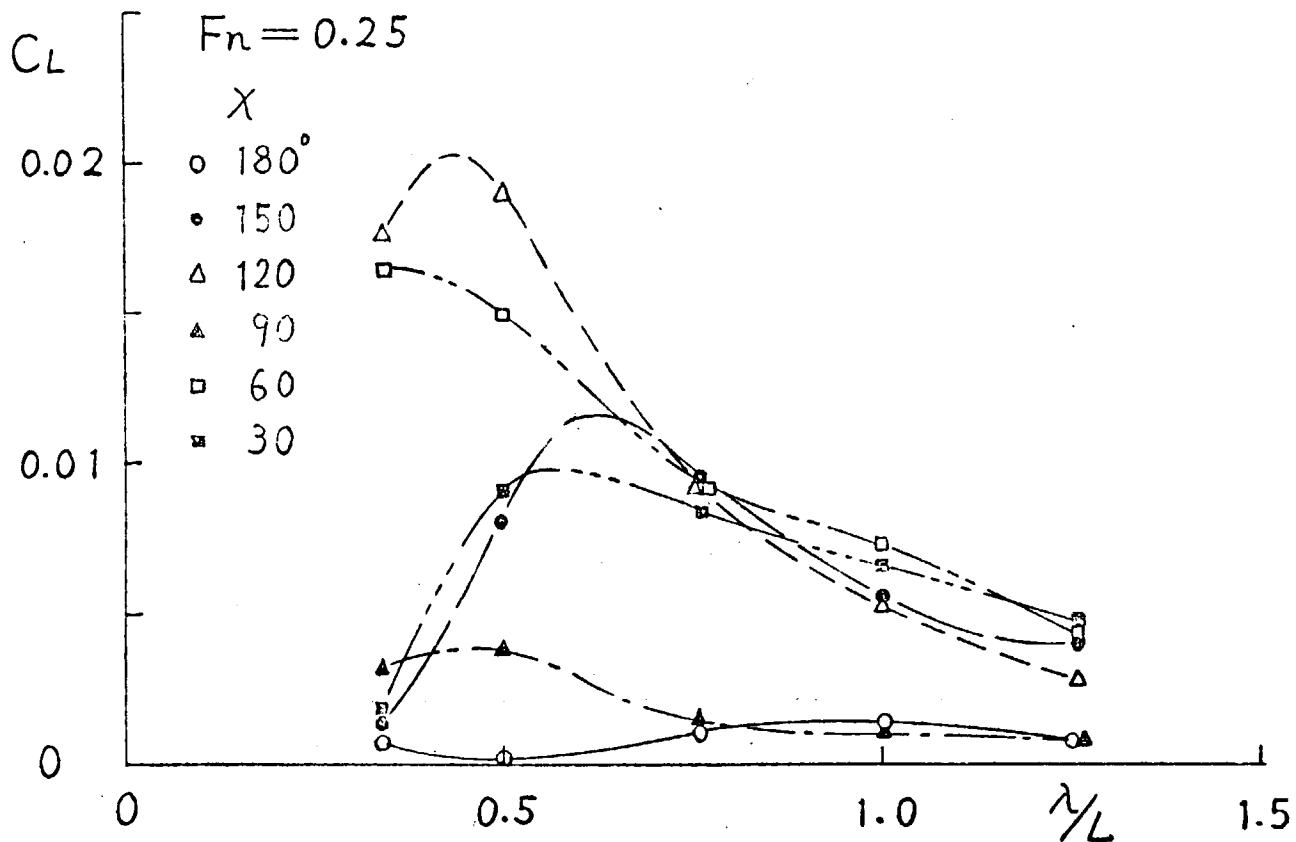


Fig 3.1.20 横曲げモーメント ($F_n=0.25$)

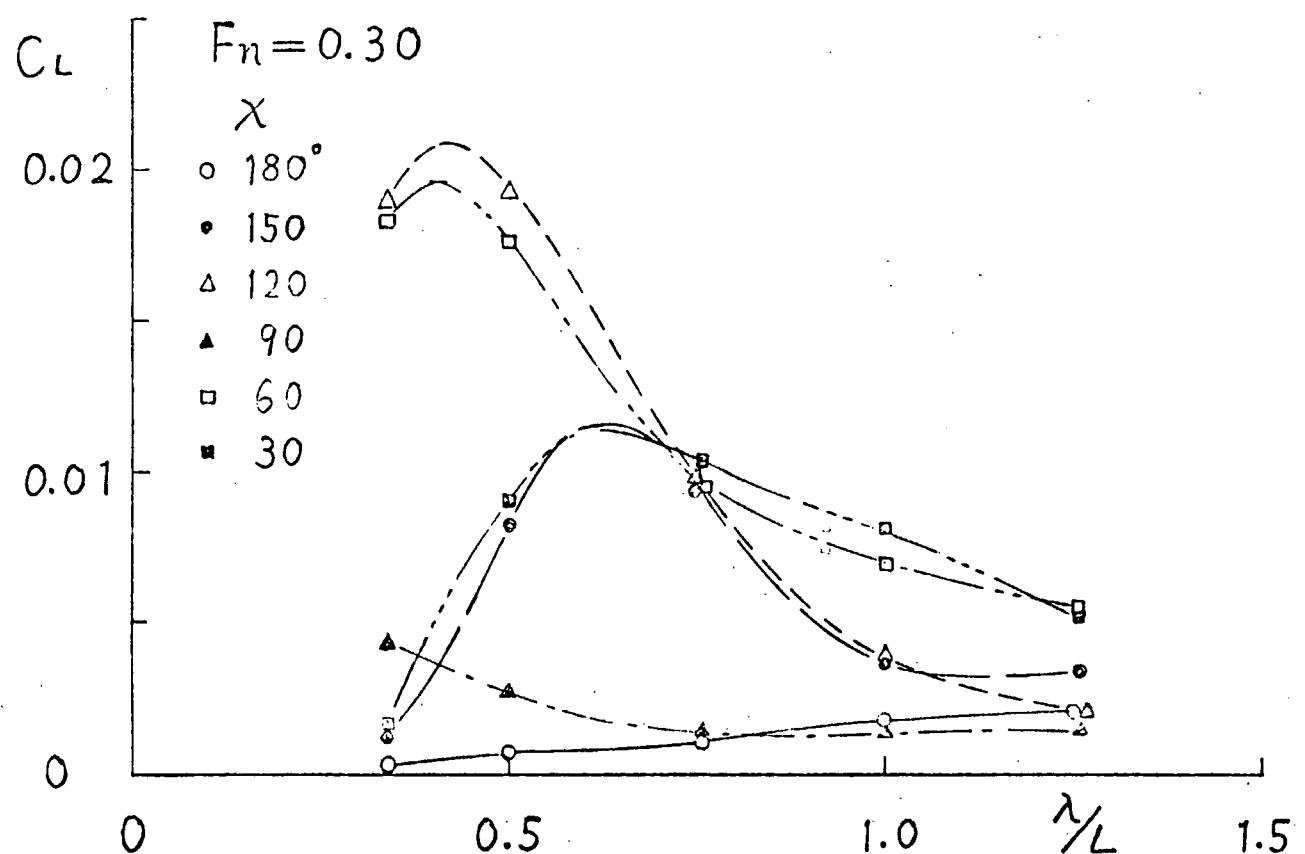


Fig 3.1.21 横曲げモーメント ($F_n = 0.30$)

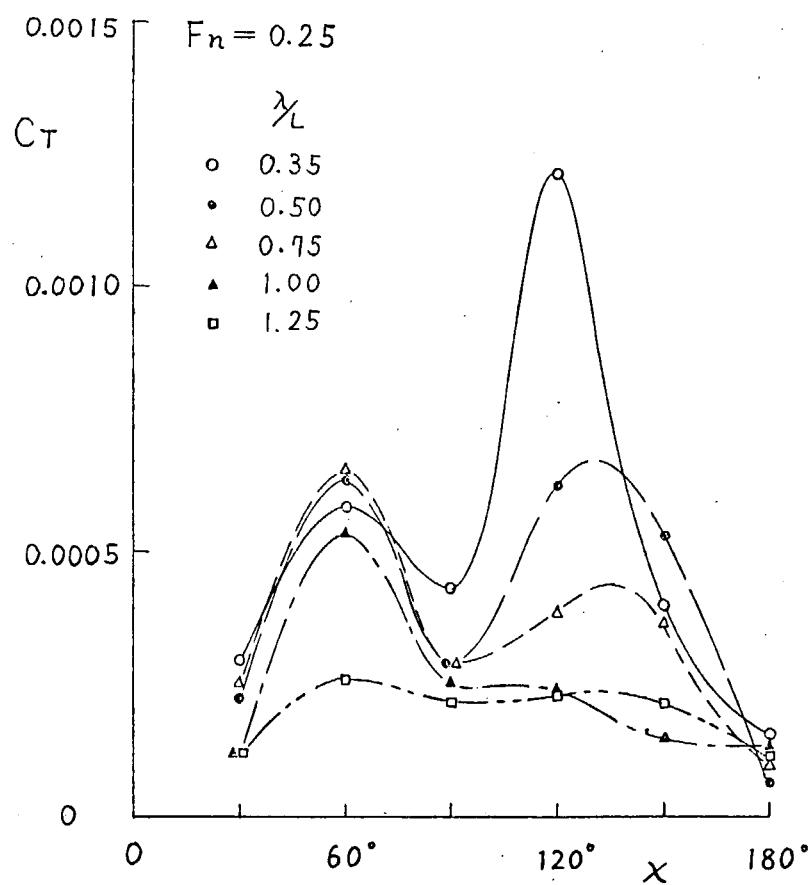


Fig 3.1.22 摺りモーメント ($F_n = 0.25$)

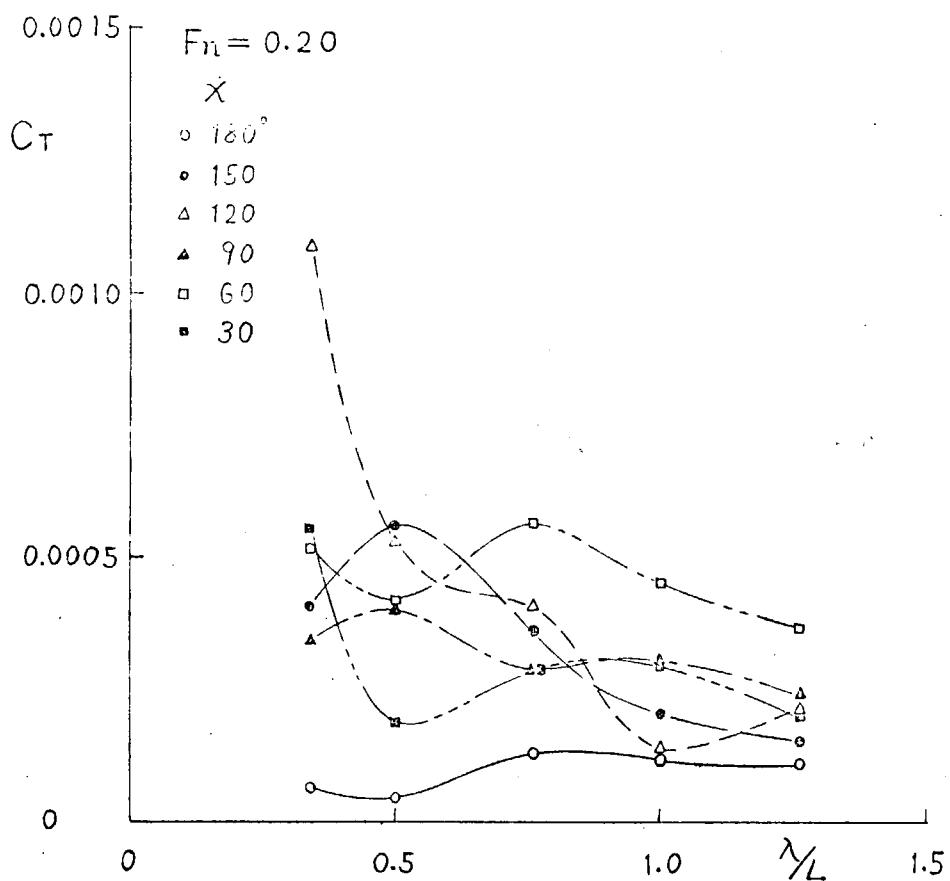


Fig. 3.1.23 摳りモーメント ($F_n = 0.20$)

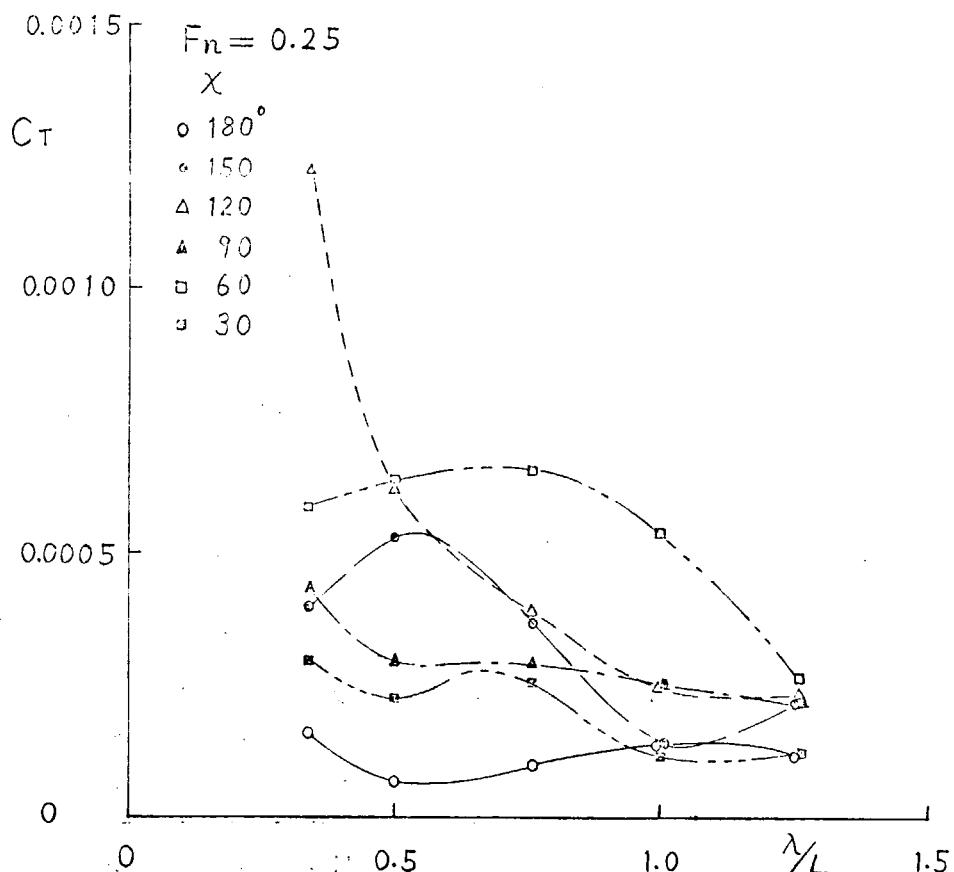


Fig. 3.1.24 摳りモーメント ($F_n = 0.25$)

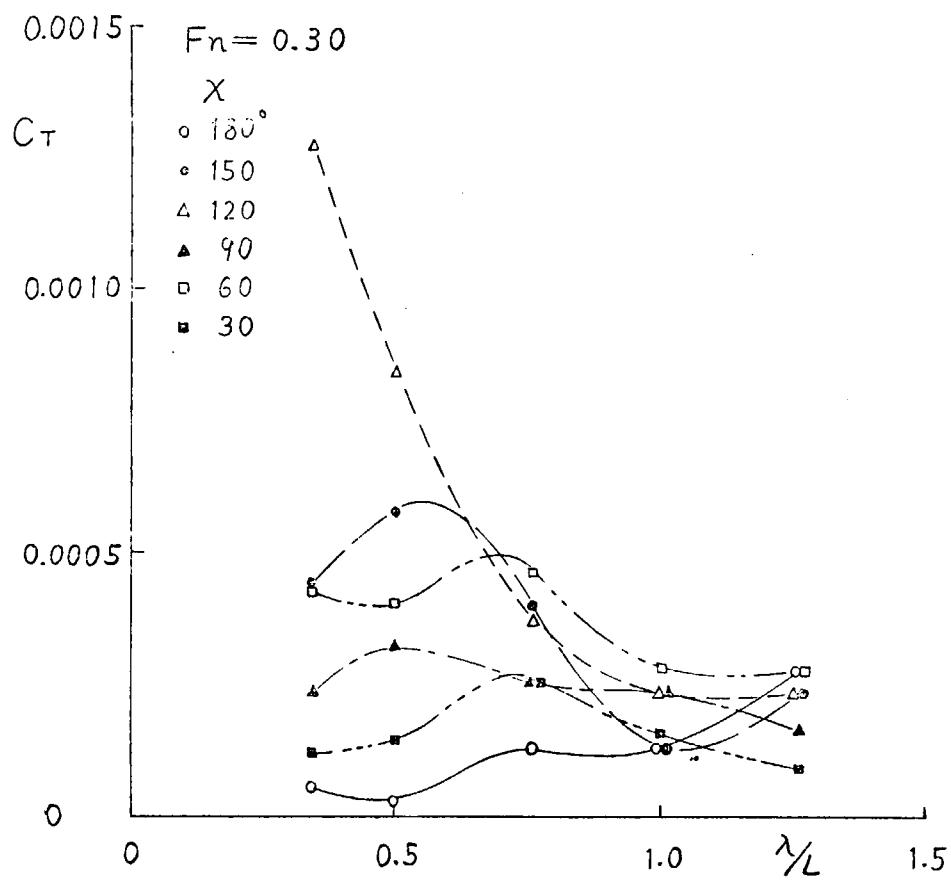


Fig 3.1.25 摃りモーメント ($F_n = 0.30$)

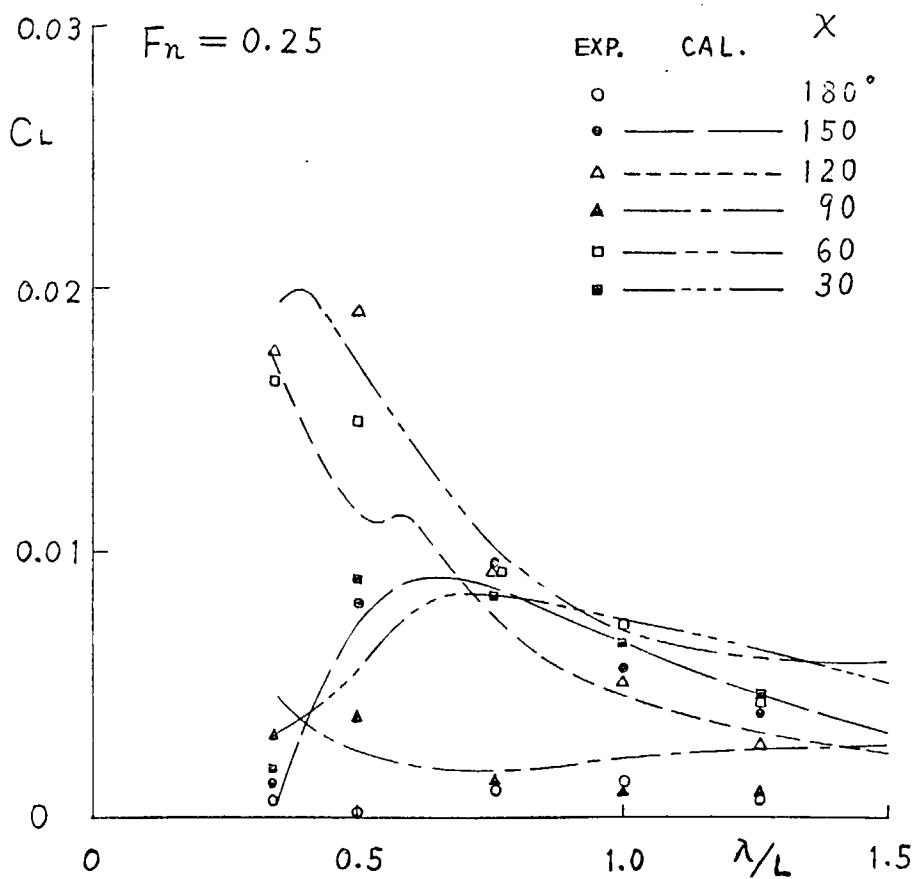


Fig 3.1.26 理論計算値との比較(横曲げモーメント)

3.2 航走中船体に加わる横運動波浪強制力の計測

3.2.1. 研究の目的

波浪中の船体運動を求める際の外力である、波浪強制力のうち横運動に関する強制力を、より正確に算定しようとする目的で、2次元柱状体が横波から受ける3分力および物体表面での変動圧力を測定するとともに、これに相当するDiffraction問題を厳密にといて両者の一致度を比較検討しようとするものである。

3.2.2 供試模型船と計測装置

Lewis form断面形状を有する長さ0.3mの、2種の2次元模型を用いて実験を行なつた。ただし、この2次元模型の前後に、長さ1.5mのDummyを、上述の2次元模型との間に2mmの間隙をあけて取付け、全長約3.3mとしたものを水面に浮べた。もちろん、中央の測定用2次元模型と前後のDummyの間は、互に拘束しないようになつておらず、強制力等の計測は、中央部の2次元柱体についてのみ行なわれた。

Fig.3.2.1～3.2.2に測定部2次元柱体の断面形状を示した。断面形状の主要目等をTable 3.2.1に示す。また、前後に付したDummyの表面は、

$$y = \begin{cases} b(z) & (0 \leq x \leq 1000\text{mm}) \\ b(z) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{500} - 2 \right)^4 \right\} & (1000\text{mm} \leq x \leq 1500\text{mm}) \end{cases}$$

で与えられる形状を有している。ただし $b(z)$ はLewis form形状を示している。Dummyの概念的形状をFig.3.2.3に示した。

3分力波浪強制力（上下力、左右力、横揺れモーメント）はFig.3.2.4に示した3分力歪ゲージを用いて検出した。本検出器は、2枚の平行な取付け円板を4本の柱で結合した形状をもち、3分力の検出（図中X、Yの2力とTのモーメント）は、この4本の柱に貼付されたストレン・ゲージで取出すもので、歪ゲージの貼付およびブリッジの組み方を工夫して、3分力の値の相互干渉を極力小さくするように製作されたものである。

以上の2次元モデル、前後のDummy部、3分力測定用歪ゲージの取付け状態をFig.3.2.5に示した。

また3分力のほか、測定部2次元モデル（長さ0.3m）のほぼ中央の断面において、Fig.3.2.1～3.2.2に示した6個所での変動圧力をも同時に計測した。図中 $\theta = \pm 30^\circ, \pm 60^\circ, \pm 82.5^\circ$ （Fig.3.2.1）、 $\theta = \pm 37.5^\circ, \pm 60^\circ, \pm 78.75^\circ$ （Fig.3.2.2）が、それらの計測点で、 θ はこれらのLewis formを単位円に写像したときに、前述の点に対応する円周上の点の、船底中央から測つた角度である。圧力の計測には、豊田工機製トヨタPMS-5M-0.5Hを用いた。

3.2.3 実験状態

実験はすべて横波（波との出会い角が90°）中で行なわれた。実験に使用された波は、無次元化された周波数 ξ_b （ $\equiv k \cdot b / 2$, k :波数 b :船幅）で、0.15, 0.20, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75の6種類で、波高は波長の如何にかかわらず約30mmで一定とした。また模型船曳航速度は0, 0.5, 1.0, 1.25, 1.5m/secの5種類である。なお静止時を除く他の場合には、あらかじめ静水面を所定の速度で模型船を曳航し、そのときの測定部2次元モデルの舷側での波形を観測して、そこでの水面が決められた喫水線に合うようにモデルの上下位置を調整した。

3.2.4 実験結果

(1) 3分力

計測されたSway force（左右力）、Heave force（上下力）、Roll moment（横揺れモーメント、静水面以上における船の長手軸のまわりモーメント）は、それぞれ次に示す方法で、それぞれの振幅を無次元化して整理した。

$$C_S = \frac{\text{Sway forceの振幅}}{W \cdot \Theta_w}$$

$$C_h = \frac{\text{Heave forceの振幅}}{\rho g A_w \cdot \eta_w}$$

$$C_R = \frac{\text{Roll Moment の振幅}}{W \cdot B \cdot \theta_w}$$

ここで、 W = 測定部 2 次元モデルの排水量、 A_w = 測定部 2 次元モデルの水線面積、 B = 測定部 2 次元モデルの幅、 θ_w = 入射波の最大波傾斜である。実験結果を Fig 3.2.6 ~ 3.2.11 に示した。実験点の記号は Table 3.2.2 にまとめて示した。図中同一の ξ_b に対する実験結果が数点あるものは、同一条件での実験がその回数だけ繰返されたことを意味し、同一記号の実験点がばらついているものは、それぞれの ξ_b での実験値のはらつきの程度を表わしていることになる。3 分力のうち、いずれの成分についても ξ_b の小さい範囲での実験値がかなりばらつきが大きいが、これは返り波の影響が大きいことのためと思われる。なお Fig 3.2.8 ($H_0 = 1.2$, $\sigma = 0.9$ の Lewis form についての横揺モーメントの結果) には船速 0 の場合しか示されていないが、これは横揺モーメントの値が小さく (Fig 3.2.11 の場合の縦軸のスケールと本図の縦軸のスケールを比較すれば、このことは明らかである)、船速がある場合は曳航台車からのノイズが大きく、精度よい計測ができなかつたためである。

(2) 変動圧力

波浪変動圧力の振幅も次のように無次元化して、整理した。

$$C_p = \frac{\text{変動圧力の振幅}}{\rho g \eta_w} \quad (\eta_w \text{ は入射波の振幅})$$

実験結果のうち、代表的な例を $\xi_b = 0.15$ と $\xi_b = 0.6$ について、Fig 3.2.12 ~ 3.2.14 に示した。横軸は前述の θ であるが、船体中心線に対して入射波が来る側を正とし、反対側を負と定義している。

3.2.5 実験結果に対する考察

以上の実験に対応する、従来の Strip Method⁽¹⁾による 3 分力および変動圧力の計算結果をそれぞれの図に点線で示した。また実線で示した計算値は、今回新しく Ursell - 田才の方法で Diffraction 問題を厳密に解いて求められた結果である。詳しくは文献⁽²⁾を参照していただくことにして、簡単にその解法を述べよう。入射波の波動を表わす流れ関数 ψ_I (既知)、Diffraction に基づく波動の流れ関数を ψ_D としたとき、物体表面上で $\psi_I + \psi_D = C(t)$ (定数) になるという条件より ψ_D を決定する。

流れ関数 ψ_D が求まれば、これと共に速度ポテンシャル ϕ_D を直ちに決定することができ、既知の入射波の速度ポテンシャル ϕ_I と合せて、波浪中に物体を固定したときの流れ場の速度ポテンシャル ϕ を求めることができる。このように流れ場の速度ポテンシャル ϕ が決まれば、 $P = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t}$ (ρ : 流体の密度) なる関係より圧力を計算することができ、さらに物体表面上での圧力を全表面にわたって積分してやれば波浪強制力が求まる。実際に流れ関数 ψ_D を求める手法としては、Ursell - 田才の方法を踏襲した。すなわち、物体内部に置かれた、振動する Source または Doublet の流れ関数^{(3), (4)} 等を用いて、前述の物体表面での境界条件を満足するようにそれぞれの強さを決定するというやり方である。

このようにして求められた計算値が実線で示すものであるが、3 分力および変動圧力振幅について、これら計算値と実験結果を比較検討すると概略次のようにいえる。

- (1) Sway force (左右力、 C_s) については、問題を厳密に解くことによって、従来の Strip Method による計算値を改良できることが明らかになつた。
- (2) Heave force (上下力、 C_h) についても、厳密に解いた値の方が実験値に近いが、改良の程度はそれほど顕著ではない。
- (3) Roll moment (横揺れモーメント、 C_R) については、従来の Strip Method と厳密解法による値の良否は明らかでない。なお横揺れモーメントについては、実験値の精度が多少欠ける憾みがあつたので、今後さらに精度のよい実験を行なつて、両方の計算値を改めて比較検討する必要もあると思われる。
- (4) 理論的な検討からも明らかなように、横方向強制力に対する船速影響はないことが実験によつてもたしかめられた。

(5) 船体周囲の圧力振幅の両計算値は、 ξ_b の小さい（すなわち波長の長い）場合には、ほとんど等しい値を与える。実験値とも良く一致している。しかし ξ_b が大きい（すなわち波長の短い）場合には、両計算値はとくに波の入射してくる側と反対の側で、かなり差を示していて、実験値は厳密に解かれた値に近い。しかし波が入射する側では、両計算値は、ともに実験値に近い値を与えていている。

以上、研究結果をまとめたが、今後の課題としては次のような点を改良・調査する必要があると思われる。

(1) 実験値の精度向上：強制力では波長の長いときの信頼性が必ずしも良好ではない。とくに横揺モーメントについては、全般的に精度を向上させる必要がある。

参考文献

- (1) 田才福造・高木又男：“規則波中の応答理論及び計算法”、耐航性シンポジウムテキスト 1969
- (2) 土岐直二他：“横波中におかれた Lewis form 柱体に対する Diffraction Problem ”、第 33 回試験水槽委員会 第 2 部会資料 1972
- (3) 田才福造：“船の上下動揺並びに縦動揺における減衰力及び附加質量について”、造船協会論文集第 105 号 1959
- (4) F. Tasai：“Hydrodynamic force and moment produced by swaying and rolling oscillation of cylinders on the free surface”、Report of Research Institute for Applied Mechanics Vol. 4 , No. 35

Table 3.2.1 Lewis form の形状

	H_o	σ	B(幅)	T(喫水)	参考図
No. 1	1.2	0.9	30cm	12.5cm	Fig. 3.2.1
No. 2	0.6	0.5	30cm	25 cm	Fig. 3.2.2

$$H_o = \frac{B}{2T} \quad \sigma = \frac{S_o}{BT} \quad (S_o : \text{断面積})$$

Table 3.2.2 グラフの要目

実験	V(前進速度: m/s)				
	0.0	0.5	1.0	1.25	1.5
	×	○	△	●	□
計算	Present method				
	Tasai's method				

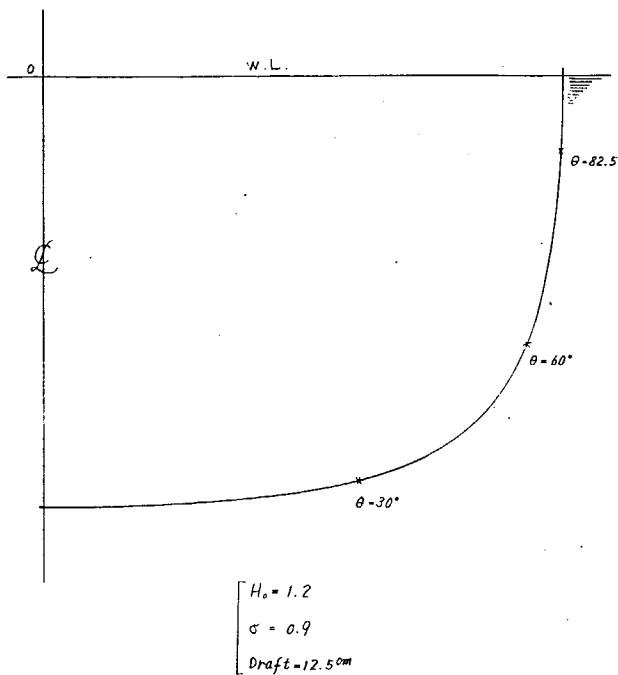


Fig 3.2.1

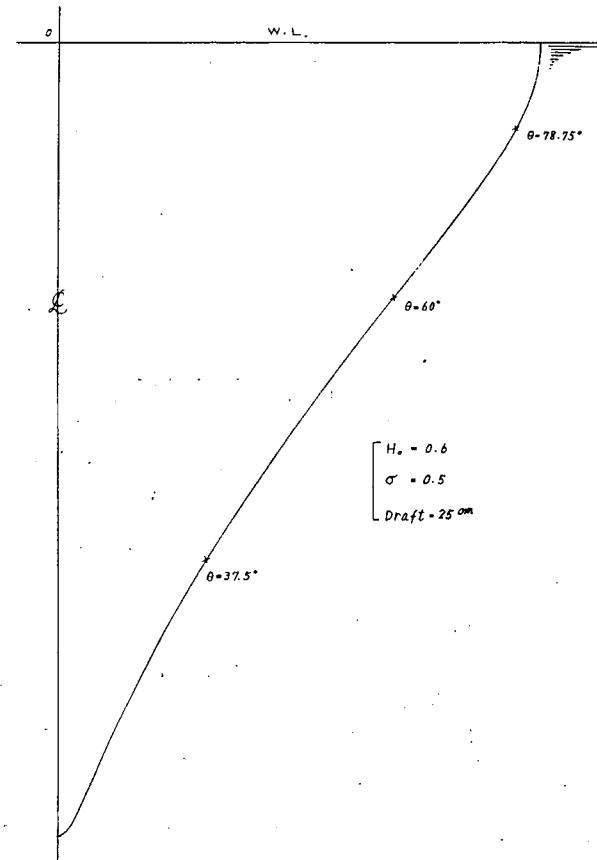


Fig 3.2.2

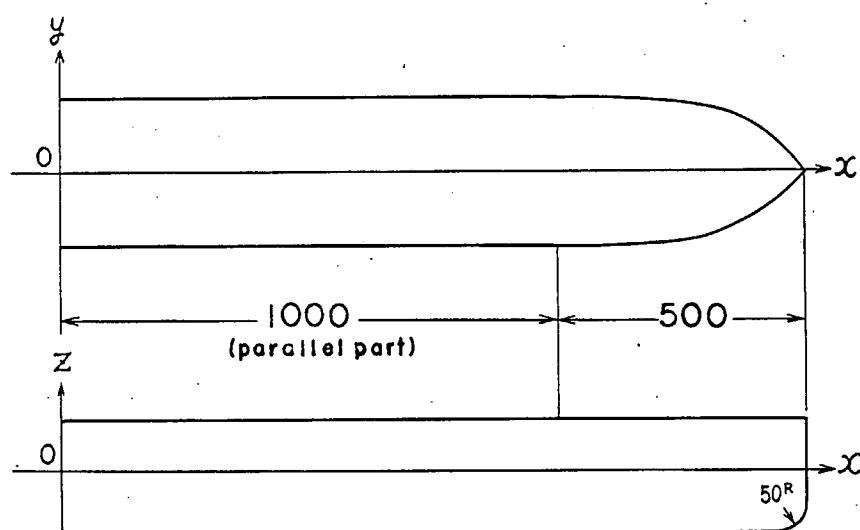


Fig 3.2.3 Dummy の形状

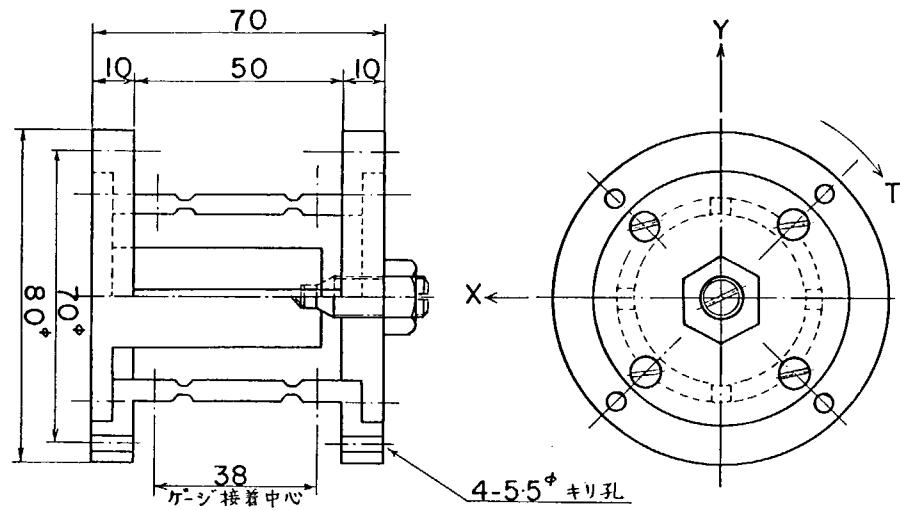


Fig 3.2.4 三分力歪ゲージ

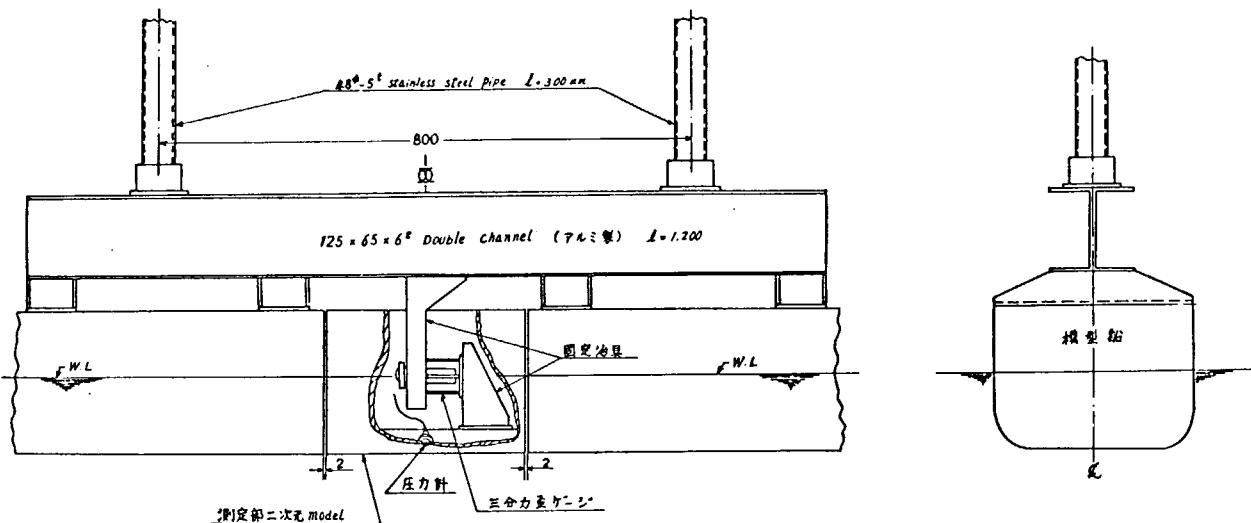


Fig 3.2.5 模型船取付け状況

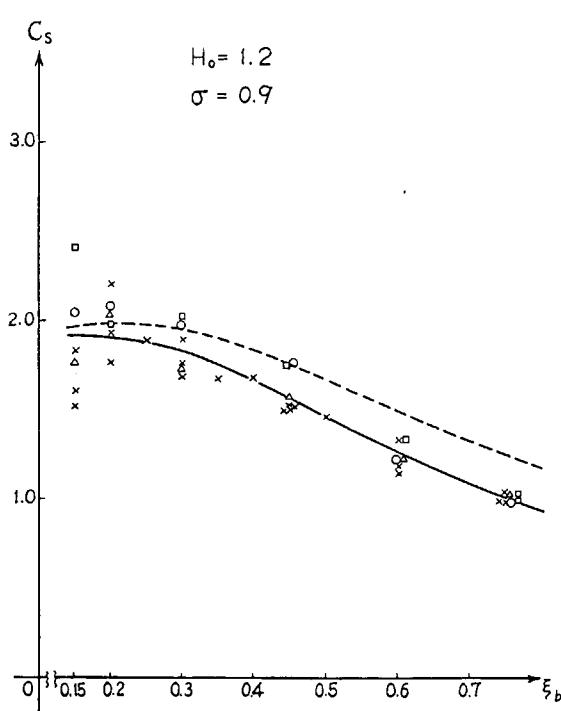


Fig 3.2.6

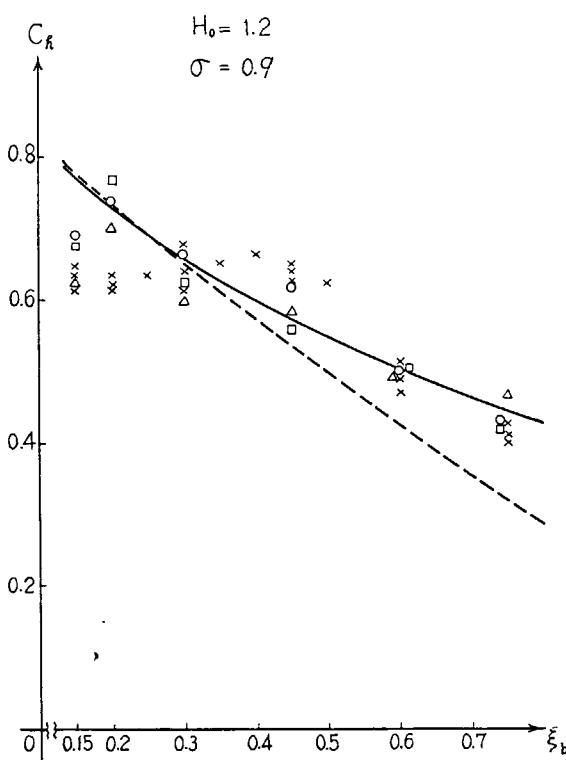


Fig 3.2.7

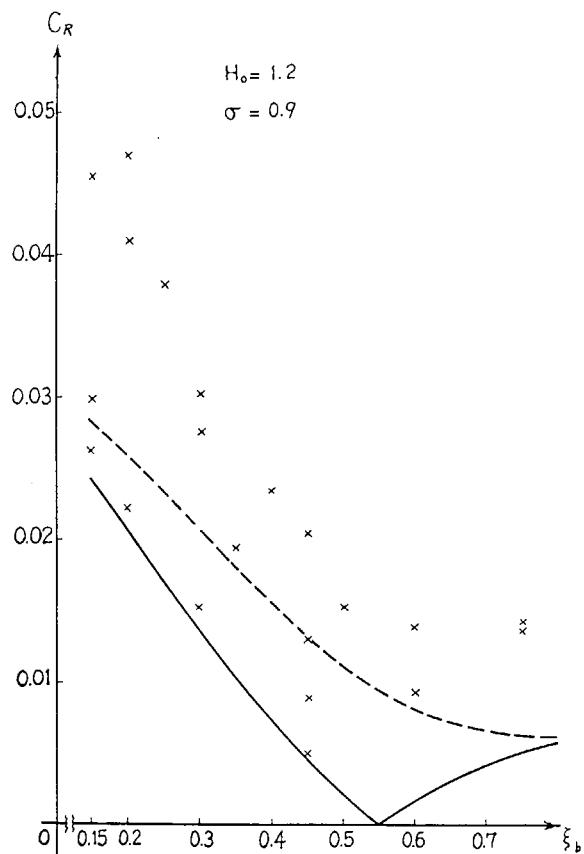


Fig 3.2.8

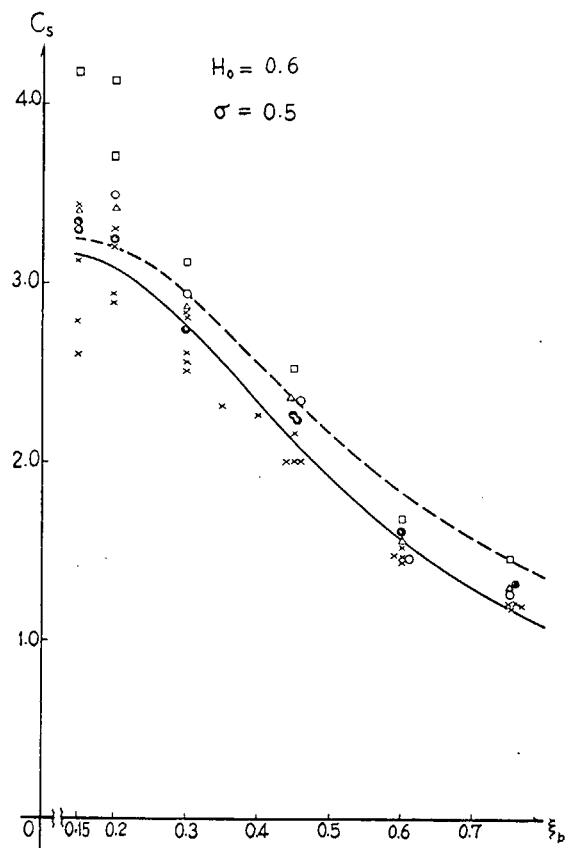


Fig 3.2.9

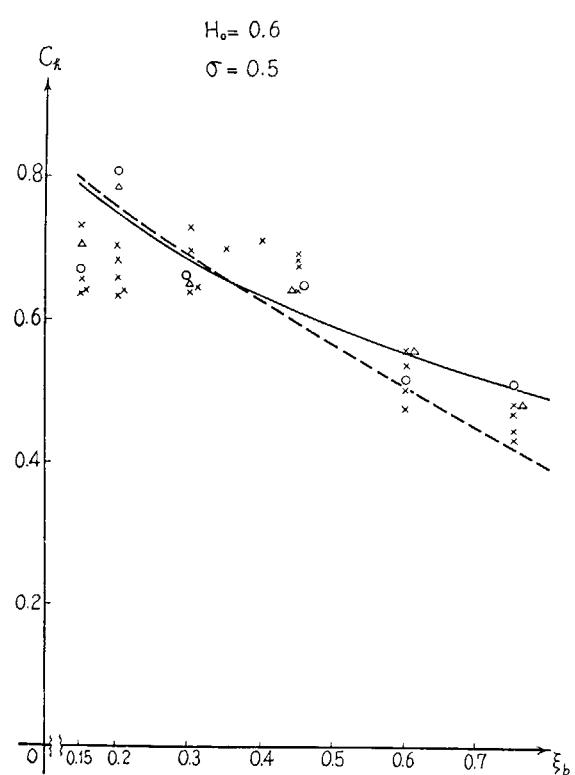


Fig 3.2.10

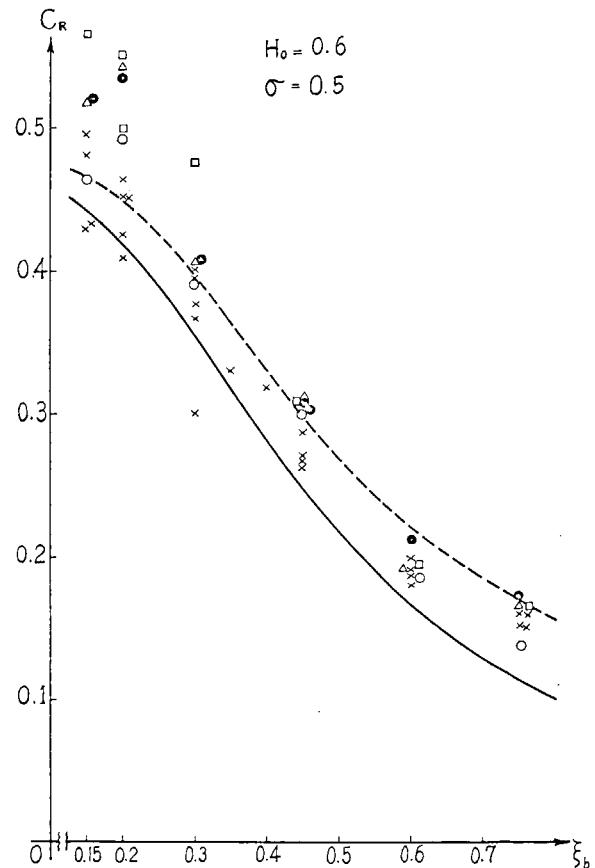


Fig 3.2.11

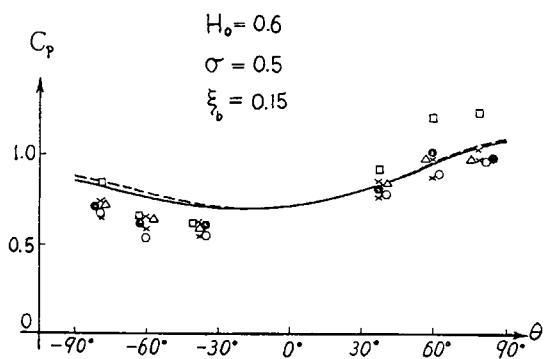
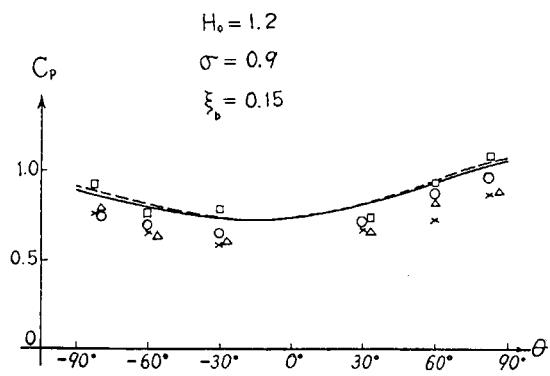


Fig 3.2.12

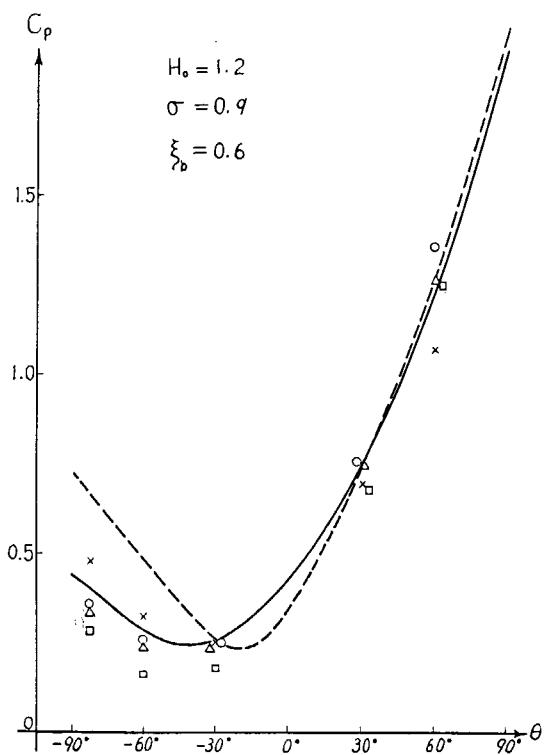


Fig 3.2.13

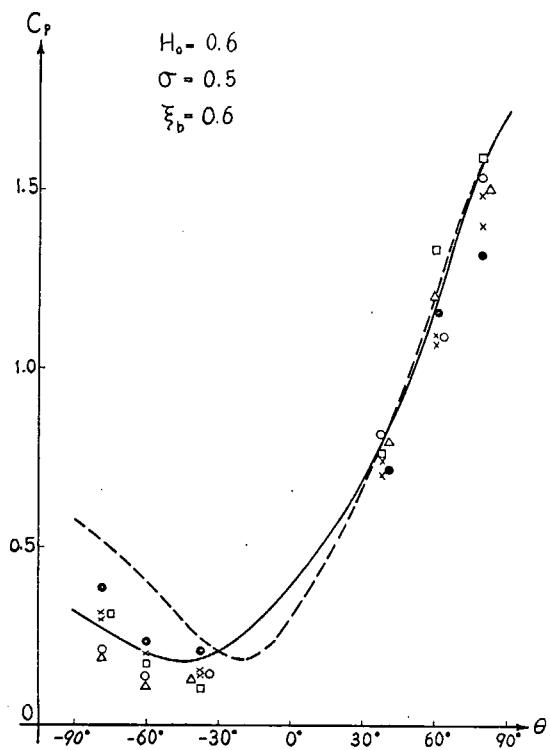


Fig 3.2.14

3.3 縦波中における抵抗増加および推進性能の実験

本年度は昨年度に引き続き、SR108の1軸コンテナ船型 ($L/B=6.89$) を $L/B=8$ に変形した船型について、大阪大学船舶試験水槽で、縦波中の抵抗増加および推進性能に関する模型実験を実施した。模型船およびプロペラの主要目は昨年度報告書¹⁾ のTable 2.1.1に記載のとおりである。

3.3.1 実験の種類および方法

実施した試験の種類をTable 3.3.1に示す。

規則波中抵抗試験では昨年どおり重力式抵抗動力計を使用したが、不規則波中抵抗試験では今年度製作した差動トランク型抵抗検力計を使用し、前後揺を拘束して行なつた。なお動力計の違いによる計測値への影響を調べるために、一部の状態について差動トランク型検力計を使用した規則波中抵抗試験を実施した。

自航試験は昨年どおり差動トランク型自航動力計を用いて実施した。

3.3.2 試験状態

規則波中における試験状態はTable 3.3.1に示すとおりである。

不規則波中実験に使用した不規則波の種類および各々の有義波高、平均波周期をTable 3.3.2に示し、それに対応する波スペクトルをFig 3.3.1およびFig 3.3.2に示す。ただし、これらの値は $L_{pp}=240m$ の実船に対応する実海面での値である。

3.3.3 実験結果および考察

(1) 規則波中船体運動

Fig 3.3.3に規則波中抵抗試験および自航試験において計測された船体運動振幅の無次元値を示す。図中にO.S.M.による計算結果を比較のために図示する。図より、上下揺、縦揺とも曳航、自航の試験状態による差は、ほとんど認められない。また、O.S.M.による計算値と実験値とを比較すると、計算値は上下揺に関しては $\lambda/L \approx 1.0 \sim 1.5$ の範囲で実験値より高く、一方縦揺については $\lambda/L > 1.2$ で実験値より低い。

(2) 規則波中における抵抗増加、推力増加

正面規則波中における抵抗試験および自航試験の結果得られた抵抗増加、推力増加をFig 3.3.4に、またトルク増加、回転数増加をFig 3.3.5に示す。図中、黒丸印は船研角水槽において行なわれた実験結果である。Fig 3.3.4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推力増加の方がわずかに大きい。これは $L/B=6.89$ の1軸コンテナ船に関する実験結果と同じ傾向である。Fig 3.3.5より、トルク増加、回転数増加も、波長に対する変化の様子は抵抗増加あるいは推力増加と同様であることがわかる。抵抗増加および推力増加に対する L/B の影響を調べるため $\rho g C_w^2 L$ を用いて無次元化した値をFig 3.3.6に示し、また $\rho g C_w^2 L^{1/3}$ を用いて無次元化した値をFig 3.3.7に示す。図中、実線は $L/B=8$ 、破線は $L/B=6.89$ である。¹⁾ 図より、抵抗増加、推力増加に関して、波長の短い部分あるいは長い所においては L/B による差はつきりとは現われないが、 $\lambda/L=0.9 \sim 1.3$ の増加量がピークを示す所では L/B の小さな船型の方が増加量が大きいことを示している。前後揺を拘束した状態で行なつた抵抗試験により得られた抵抗増加を参考のためにFig 3.3.4に点線で示す。前後揺を拘束した場合、長波長域においては、前後揺自由の状態における実験結果との差は認められないが、短波長域($\lambda/L=0.5 \sim 1.2$)においては若干差が認められ、またピークの位置も少しずれるようである。この原因については不明であるが、船体運動と波との位相差に差の生じることが考えられる。

(3) 規則波中における自航要素

規則波中の抵抗試験、自航試験結果を解析して得られた自航要素の波長に対する変化の様子をFig 3.3.8に示す。図において、波長に対する自航要素の変化の様子は、 $L/B=6.89$ の船型に関する結果¹⁾ とよく似ている。すなわち、波長が大きくなると($\lambda/L \geq 2.0$)、次第に平水中の値に近づき、 $\lambda/L=0.9 \sim 1.5$ のあたりでは自航要素はかなり変化し、また平水中の値とも異なつている。このような波長に対しては、船体運動も大きく、従つて船体運動が自

航要素に与える影響の大きいことが明らかである。

(4) 不規則波

Table 3.3.2 に示されるように、実験に用いた不規則波の Sequence は、有義波高を一定に保ち、平均波周期を 4 種変えた状態、および、平均波周期と一定にして有義波高を 4 種変えた状態の計 8 種である。これらの Sequence のうち、Seq・2 と Seq・2-3 とは同一の不規則波を表わす。Fig 3.3.1、Fig 3.3.2 に示されている波スペクトルは、造波機の造波特性を考慮して単峰の波スペクトルを有する不規則波となるように改良されている。

(5) 不規則波中船体運動

Fig 3.3.9 の上部に、平均波周期に対する船体運動の実験値と規則波中実験において得られた応答関数と、実験に用いた波スペクトルを用いて求めた予測値を図示する。図中、上下揺、縦揺とも、両振幅の有義値を有義波高で除した値を示してある。また、点線で示されている部分は、実験点が存在しない部分であるが、予測値に関しては、波スペクトルを仮定して予測を行なつた。

Fig 3.3.9 の下部に、有義波高に対する船体運動の実験値と上記と同様にして求めた予測値を図示する。図より、上下揺、縦揺ともに、線形性は比較的よいが、縦揺に関しては非常に線形性のよいことが明らかとなつた。これらの図より、正面不規則波中における船体運動に関しては、規則波中の応答関数と波スペクトルより予測可能であると考えられる。

(6) 不規則波中抵抗増加

Fig 3.3.10 の左側に平均波周期に対する平均抵抗増加の変化を図示する。図中の黒丸印は実験値、また白丸印は予測値である。点線で示した部分は実験値が存在しない。また、予測値の曲線が最大値を示す部分は、波スペクトルを推定して予測を行なつた結果である。図より、 $L_{pp} = 24.0\text{ m}$ の実船に対して、平均波周期 $T_0 \approx 1.0\text{ 秒}$ の付近に平均抵抗増加の最大値が存在することが予想される。予測値は実験値に比べてかなり低く、不規則波中の平均抵抗増加を船体運動と同一の方法で予測すると過小な値を与える可能性のあることを示している。

Fig 3.3.10 の右側に有義波高に対する平均抵抗増加の変化を図示する。図より、抵抗増加の実験値は有義波高の低い部分ではかなり大きくなる傾向があり、有義波高が高くなるとともに一定値に近づく傾向がある。一方、予測値は実験値に比べて、有義波高の低い部分においてはかなり低く、有義波高に対する変化が比較的直線的であるため有義波高の増大とともに実験値に近づく。規則波中における応答関数は $C_w/L \approx 1/50$ であり、有義波高約 4.8 m に相当している。従つて、小波高の規則波中における実験値を用いて予測することは避けるのが望ましいと思われる。

このように、実験値と予測値の間に大きな差の生じることの原因として、抵抗増加は厳密には波高の 2 乗に比例していないことが考えられる。また、不規則波中における実験は計測時間に制限があるため抵抗増加の実験値に若干の誤差のあることが考えられる。一方、予測に用いる波スペクトルも計測時間が制限されるために、その推定に誤差があることが考えられる。以上のような理由により、不規則波中における抵抗増加の予測に関してはさらに詳しい研究が必要であると考えられる。

(7) 不規則波中推力増加等

Fig 3.3.11 (1)～(2) に、不規則波中における自航試験の結果得られた推力増加、トルク増加、回転数増加の平均波周期および有義波高に対する変化を図示する。推力、トルク回転数の増加に関して、実験値は有義波高の低い部分における値がないが、全体的な変化の傾向は不規則波中における抵抗増加の傾向とほぼ同一である。不規則波中における抵抗試験は前後揺を拘束した状態で実施されており、一方、自航試験は前後揺自由の状態で行なわれている。このために、不規則波中における抵抗増加は推力増加に比べて若干大きな値を与えており、このような模型船の状態の違いによる抵抗増加、あるいは推力増加に関してはさらに詳細な研究を必要とする。

参考文献

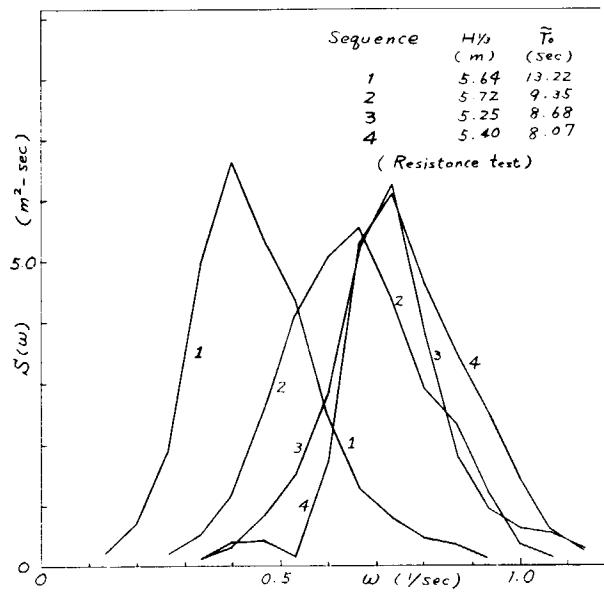
1) 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究報告書、SR125、昭和46年度報告書、日本造船研究協会研究資料、No157、昭和47.3.

Table 3.3.1 Summary of tests carried out.

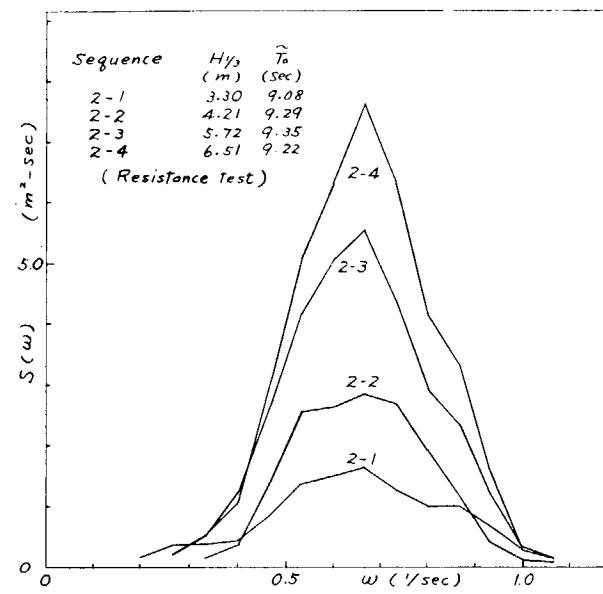
Kinds of test		Fn	ζ_w/L	λ/L	Note
In still Water	Resistance	0.14~0.32	—	—	
	Self-Propulsion	0.14~0.32	—	—	
In regular Waves	Resistance	0.20, 0.25 0.30	1/50	0.5~2.5	
	Self-propulsion	0.20, 0.25 0.30	1/50	0.5~2.5	
In irregular Waves	Resistance	0.20, 0.25 0.30	see Table 3.3.2	Surge restrained	
	Self-propulsion	0.20, 0.25	see Table 3.3.2		

Table 3.3.2 Sequence of irregular waves

Sequence	$H_1/3$ (m)		\tilde{T}_o (sec)	
	Resistance test	Self-prop.test	Resistance test	Self-prop.test
1	5.64	6.47	13.22	12.67
2 (2-3)	5.72	7.00	9.35	9.22
3	5.25	6.19	8.68	8.81
4	5.40	6.47	8.07	8.61
2-1	3.30	4.62	9.08	9.01
2-2	4.21	5.62	9.29	8.95
2-3	5.72	7.00	9.35	9.22
2-4	6.51	7.49	9.22	9.42

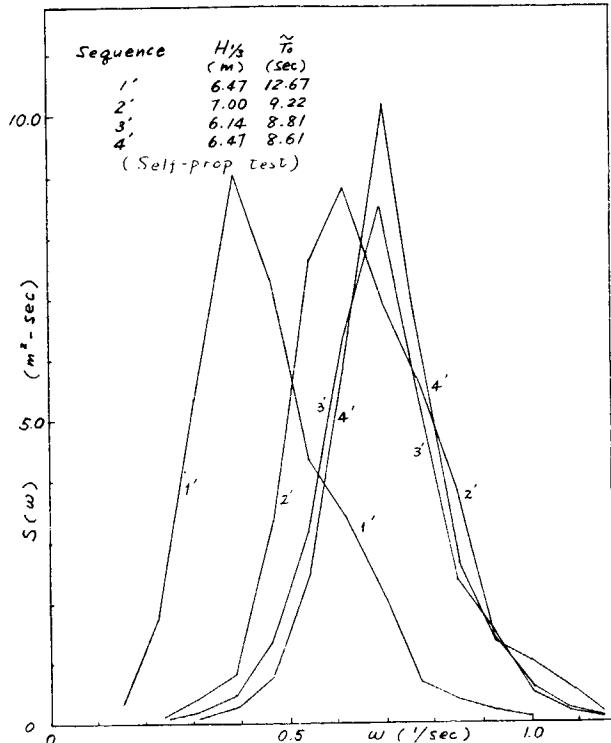


(1)

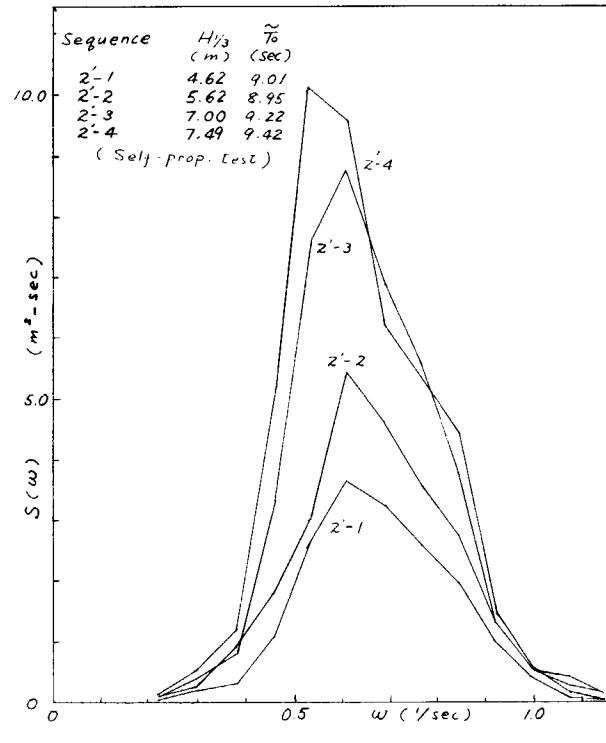


(2)

Fig 3.3.1 Wave spectra used in resistance tests



(1)



(2)

Fig 3.3.2 Wave spectra used in self-propulsion tests

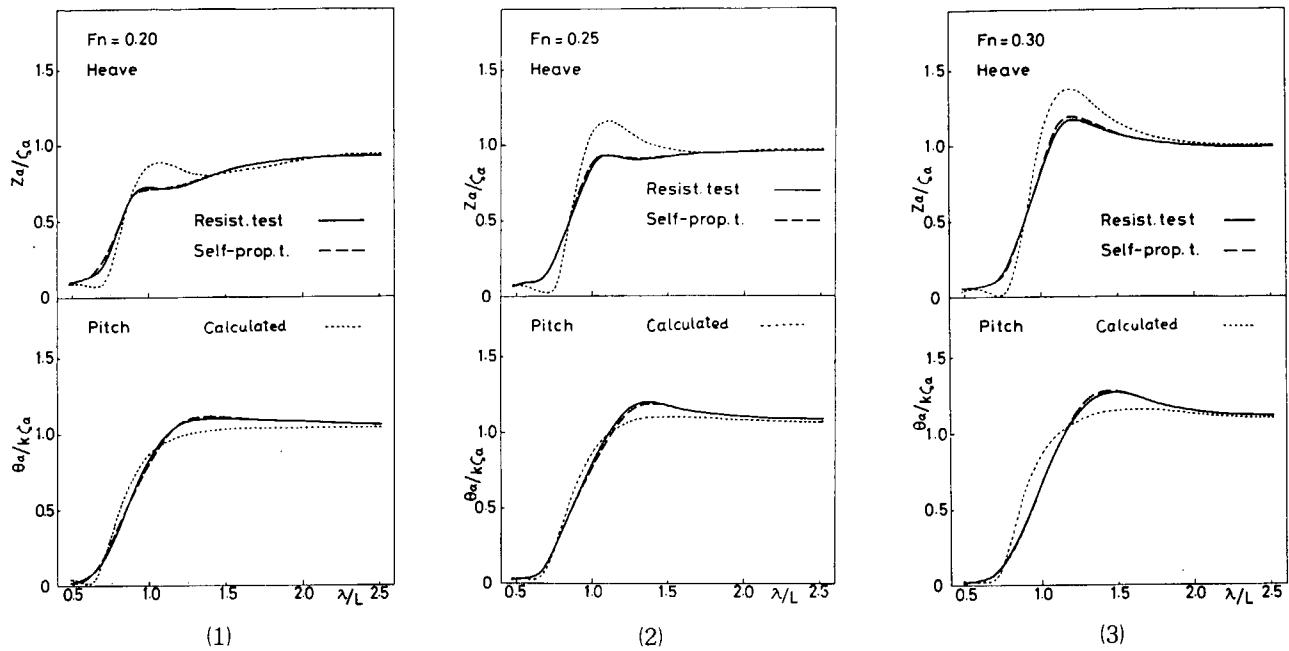


Fig 3.3.3 Ship motions in regular head waves

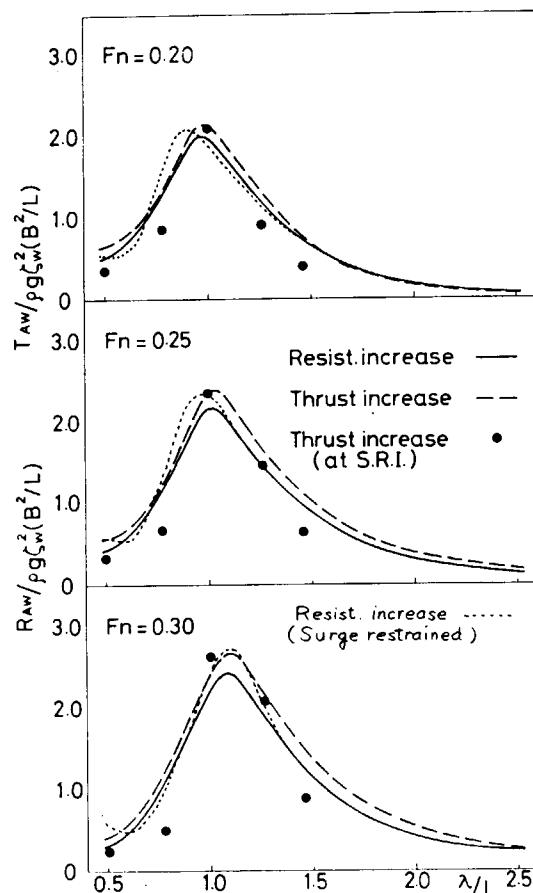


Fig 3.3.4 Resistance and thrust increases in regular head waves

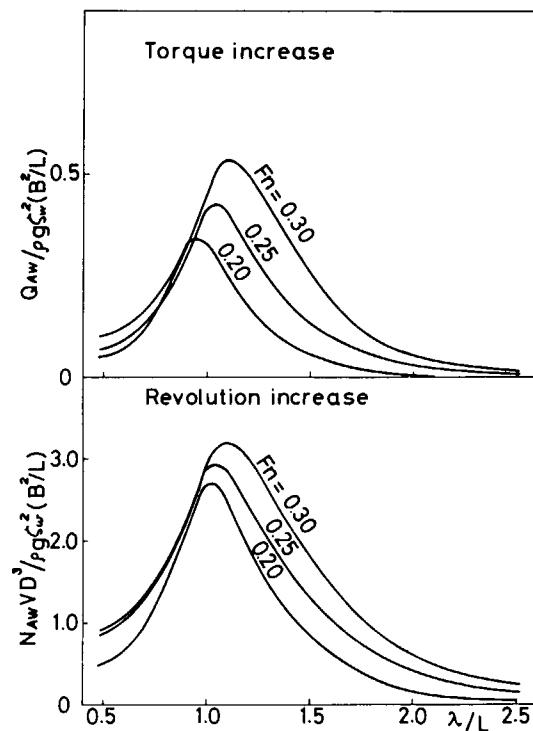


Fig 3.3.5 Torque and revolution increases in regular head waves

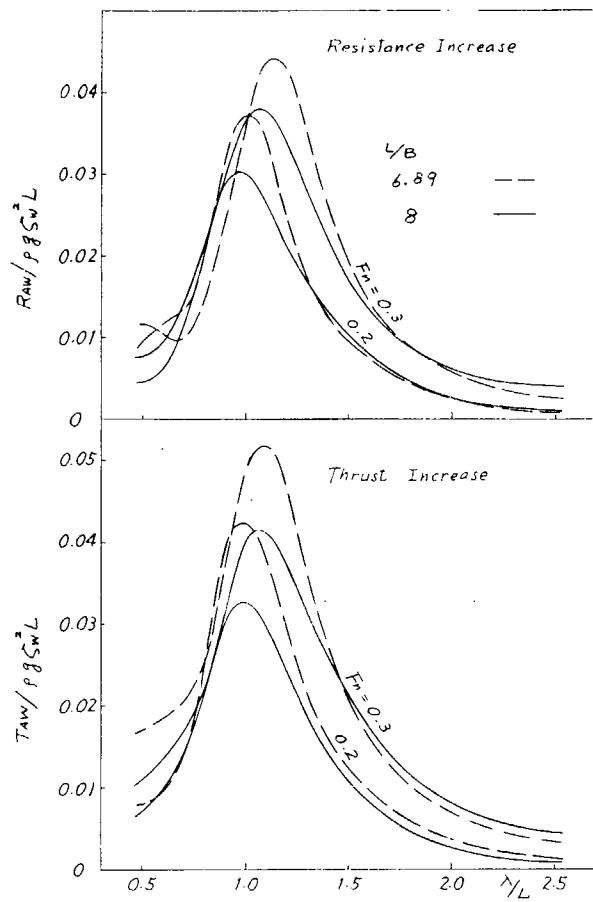


Fig 3.3.6 Effect of L/B on resistance and thrust increases

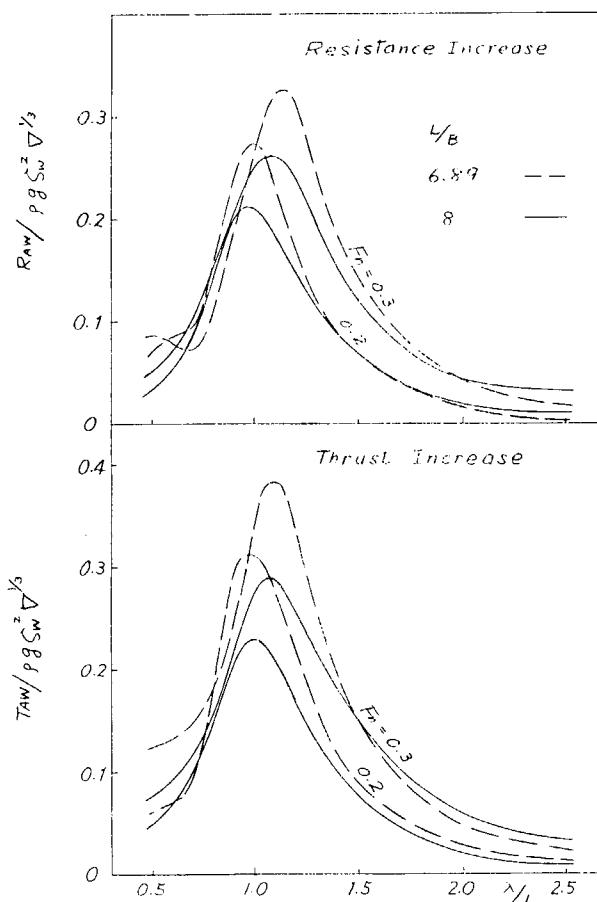


Fig 3.3.7 Effect of L/B on resistance and thrust increases

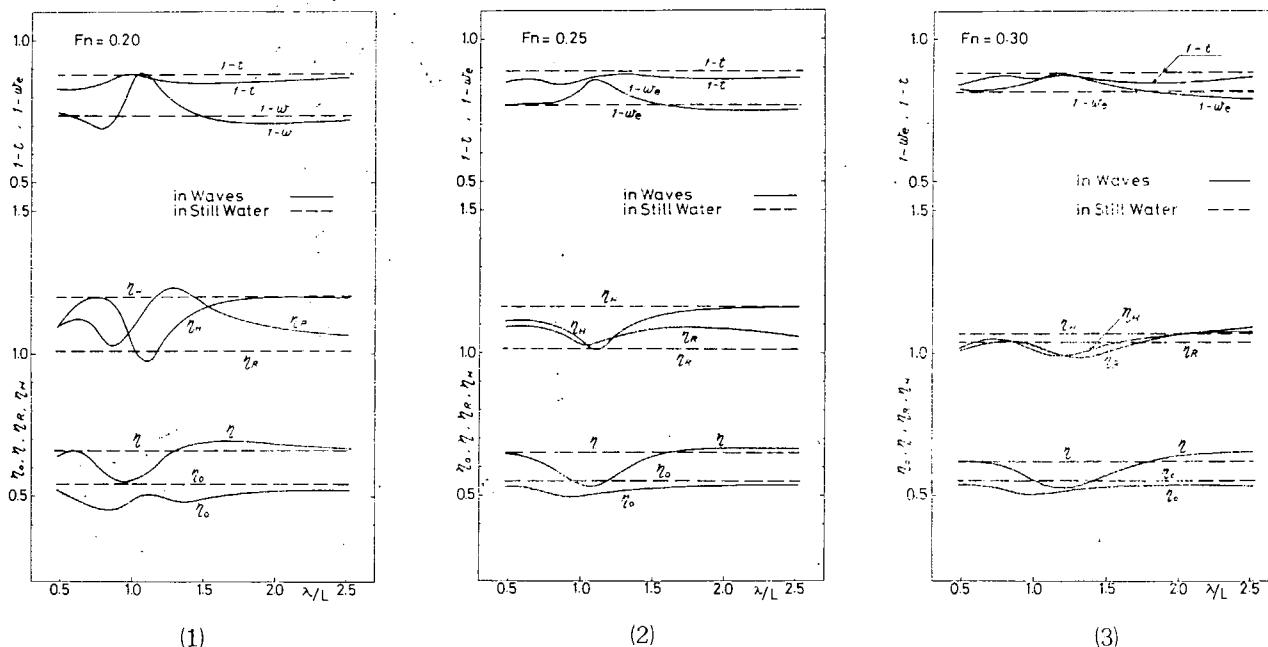
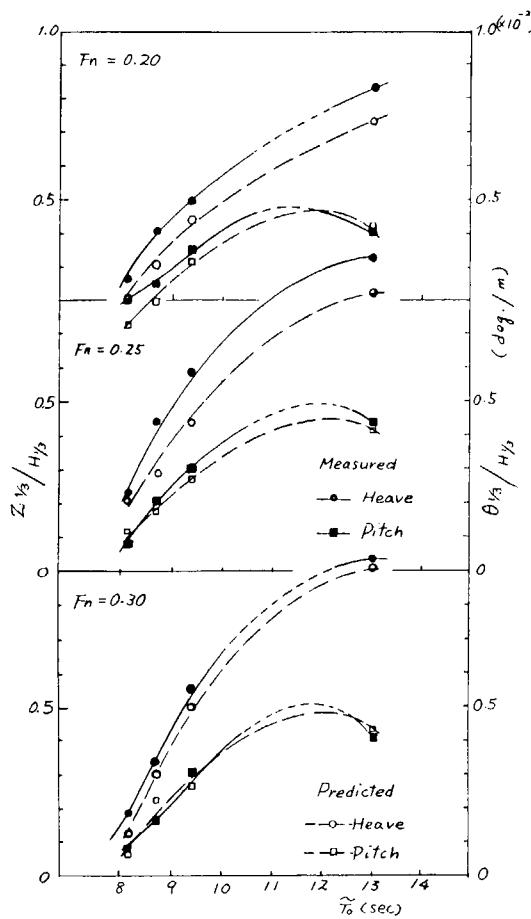
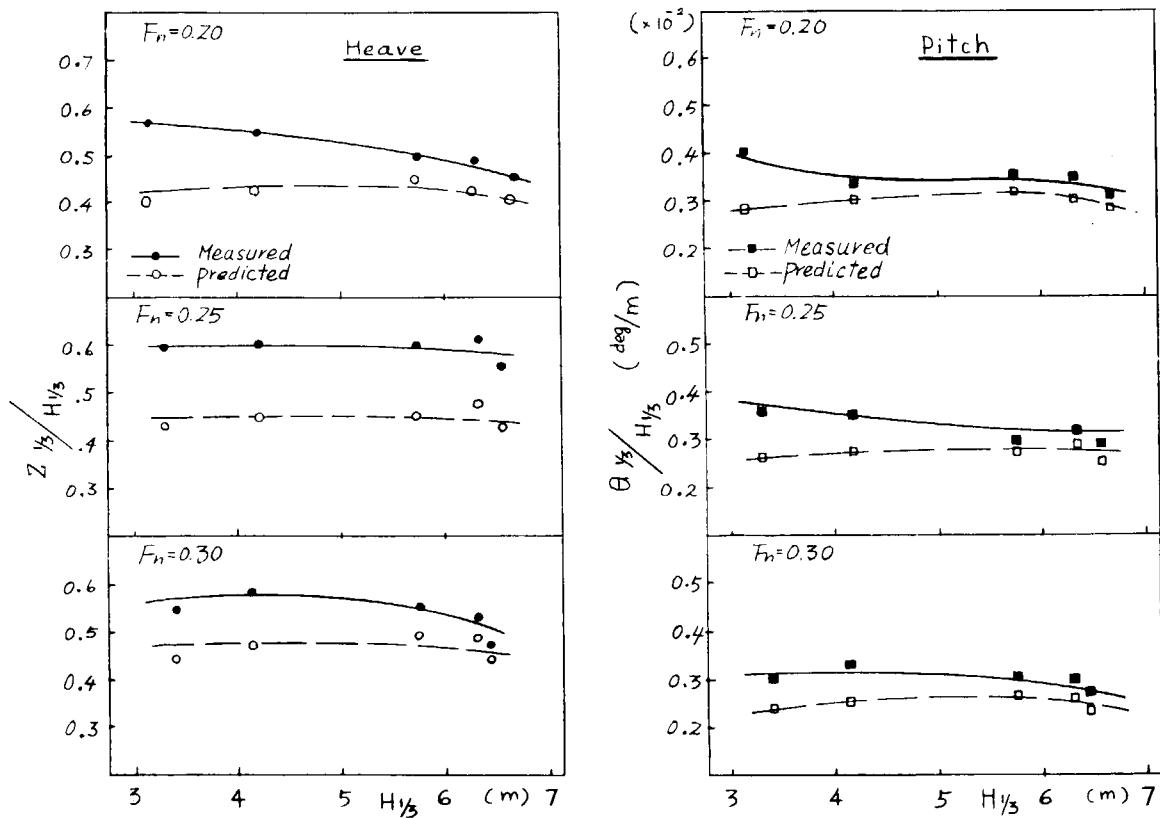


Fig 3.3.8 Self-propulsion factors in regular head waves



(1)



(2)

Fig 3.3.9 Ship motions in irregular head waves

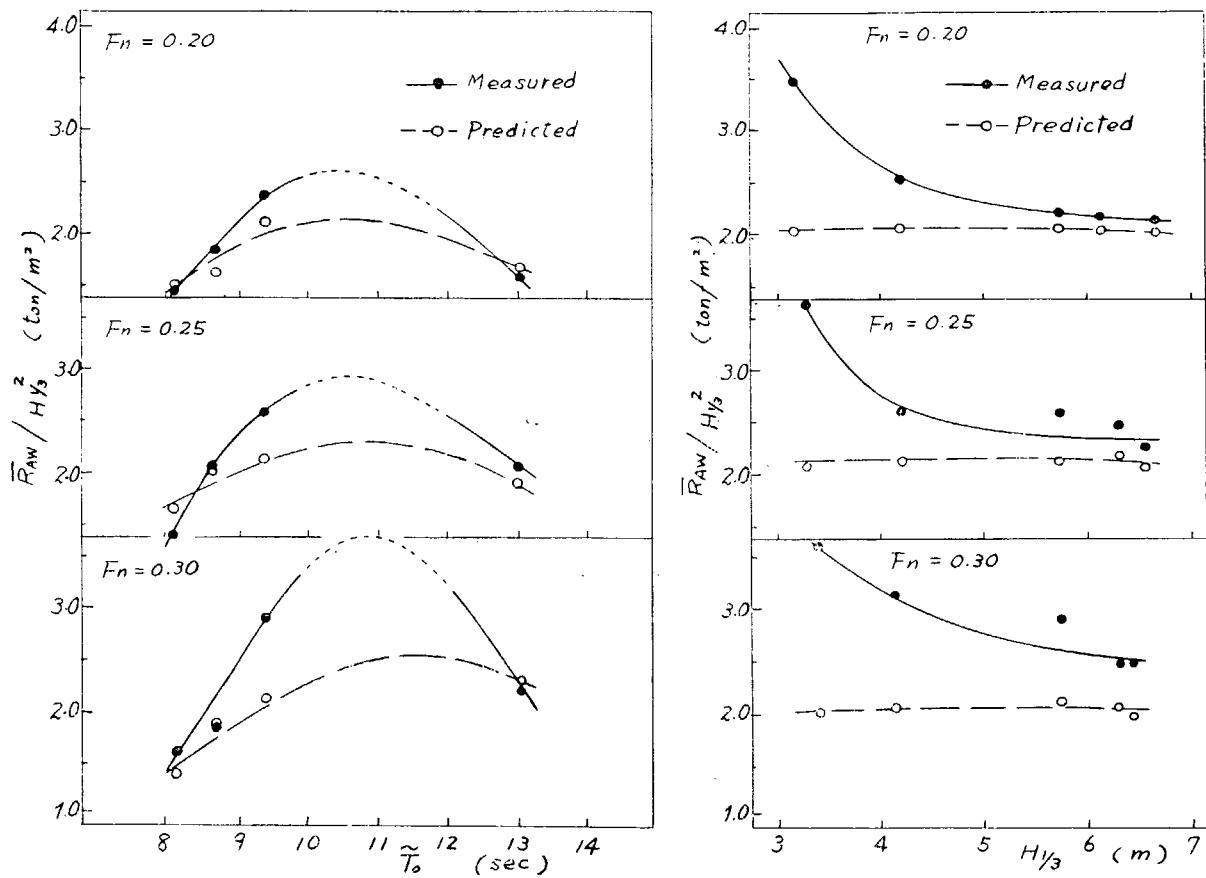


Fig 3.3.10 Resistance increase in irregular head waves

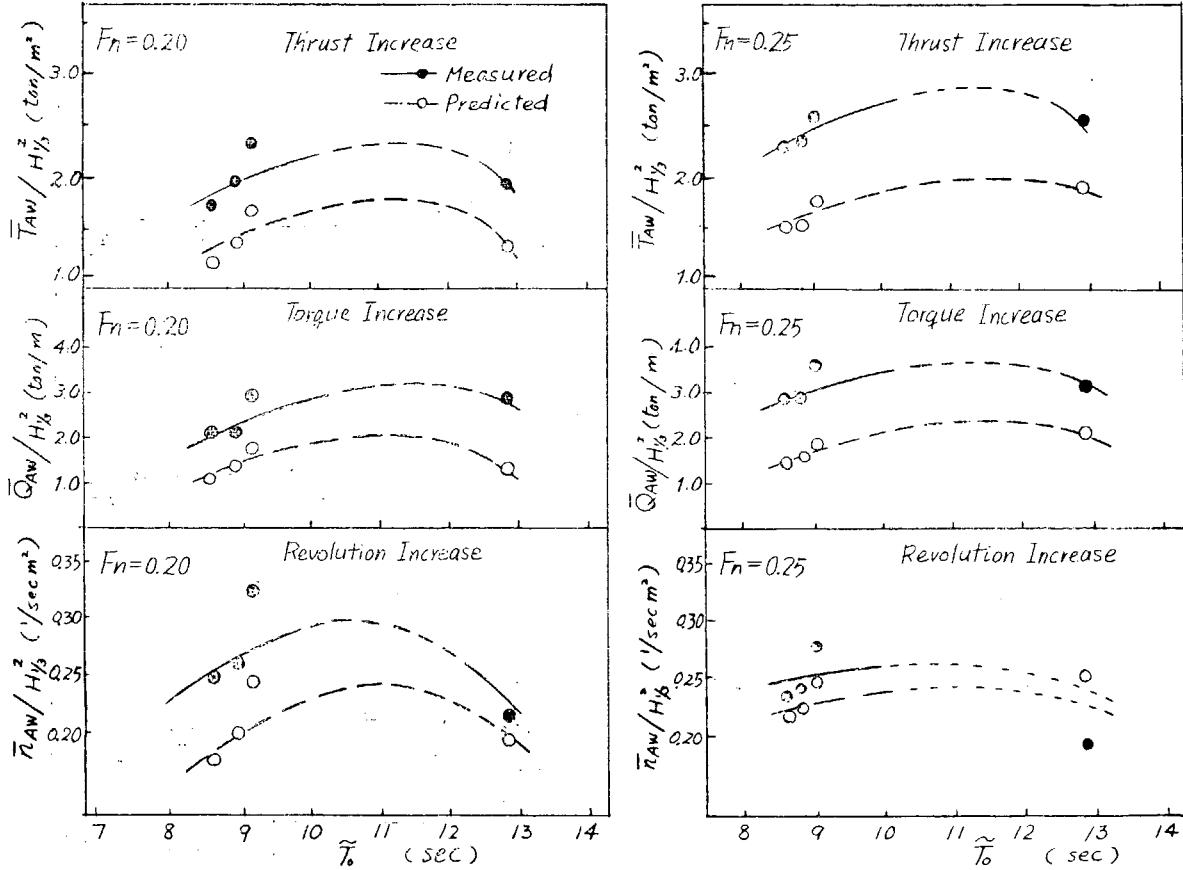


Fig 3.3.11(1) Thrust, torque and revolution increases in irregular head waves

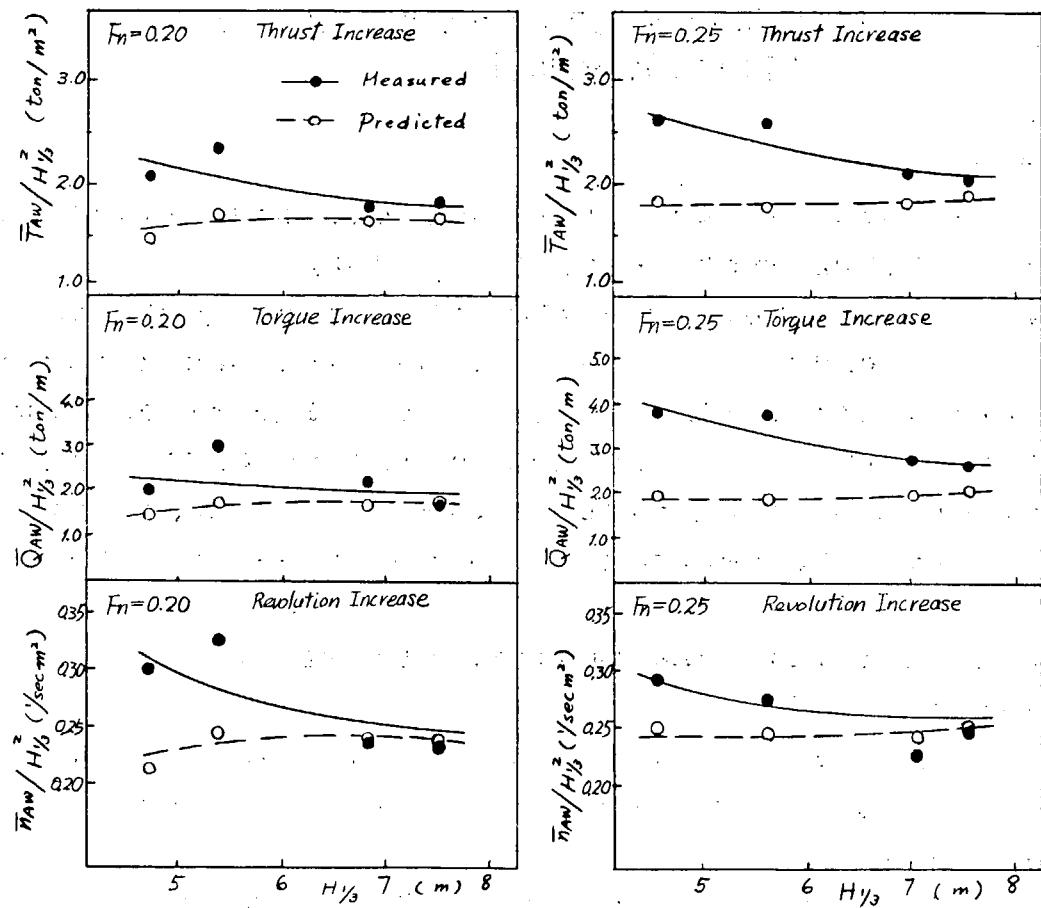


Fig 3.3.11(2) Thrust, torque and revolution increases
in irregular head waves

4. 欧州航路高速コンテナ船KM丸による 実船試験結果の解析

4.1 まえがき

KM丸で実施した実船試験に関しては既にSR125の46年度報告(研究資料No.157)の4章にその概要が述べられている。ここでは本年度研究として行われたデータの解析結果について述べる。

KM丸の実船試験は本委員会が波浪中実船試験用として製作した計測コンテナシステムを使用した最初の実験である。したがって、すべての計測結果はアナログデータレコーダ(ANALOG-7)に記録されている。このアナログ記録をデジタルの数列に変換して(A-D変換)、デジタル電子計算機で数値計算を行なうことになるが、本年度研究ではA-D変換およびスペクトル解析計算を三菱重工神戸造船所(担当、辛島)、統計解析計算を三菱重工長崎研究所(担当、朝長)でそれぞれの場所の電算機を使用して実施した。なお、A-D変換は神戸で行ない、変換後のデジタルデータを長崎へ持つて行って計算が行われているので、統計解析に使用した数列とスペクトル解析に使用した数列は全く同じものである。

記録は2台のANALOG-7に次のように全試験期間中配列を固定して実施されている。

データ・レコーダ I

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

データ・レコーダ II

1ch. プロペラ回転数(Port.)	2ch. 回転(Starb.)	3ch. 主軸トルク(Port.)
4ch. 主軸トルク(Starb.)	5ch. 相対風向	6ch. 相対風速
7ch. 舵角(タイム・コード兼用)		

2台のデータ・レコーダは全試験期間中完全に連動して記録をとっており、1台だけで作動させたことはないので記録されたテープ間の対応は簡単である。記録されたテープにはI-1、II-1、I-2、II-2のように番号が附されており、I-9およびII-9まであり、計18本となる。1本の最大記録時間は約12hr.であるが、今回の実験での積算記録時間は100.5hr.となっている。

計測コンテナシステムでは完全自動記録が可能であるので、夜中にも計測を行なっている。定時計測はログ・ブックの記入時刻に合せて、船内時刻の4時、8時、12時、16時、20時、24時に実施した。KM丸の実験ではあまりにも平穏な日には計測を中止したが、計測を実施しなかった日は往復ともパナマ運河通過の前後に限られているので、今回のデータは、計測期間中のほぼ4時間ごとの定時間隔特性を与えるものとなっている。本船の船内時間は往航では1日が23hr.、復航では25hr.であるが大部分であり、船内時刻の変更は夜中の2時であったのに対し、計測システムでの時刻の変更は20時~24時に行なっているので、24時の計測は船内時刻に対して±1hr.の差がある場合が多く、また、20時の実験と24時の実験の間の時間間隔が往航では3時間、復航では5時間の場合が多いわけである。

定時計測での記録時間は30分であるが、例えば12時の定時計測とは12時に計測が終了するようにタイマーをセットしてある。12時の計測と16時の計測の境目はタイムコードの記録で判別される。今回の実験ではタイムコードはI、IIのデータ・レコーダとも7ch.に計測開始から3分間記録されるようにした。その後は自動的に現象の記録を切り換わる。今回の解析にあたり使用した数列は各現象とも計測開始時刻から1秒ごとに読み取った936ヶの数列であるので、計測開始から約15分間の現象を解析していることになる。

なお、各回の計測には実験番号(Exp.No.)が附されているが、

- A. Exp.No. 1 ~ 46 往航、太平洋(計測回数46回)
(Tape. No. I、II-1、2)

B. Exp. No. 47 ~ 94 往航、大西洋 (計測回数 48 回)

(Tape. No. I, II-3, 4)

C. Exp. No. 95 ~ 133 復航、大西洋 (計測回数 39 回)

(Tape. No. I, II-5, 6, 7)

D. Exp. No. 134 ~ 179 復航、太平洋 (計測回数 46 回)

(Tape. No. I, II-7, 8, 9)

のように大別される。定時計測を 4 時間ごとの短い間隔で実施しているので、時化の時に行なった臨時計測はほとんどの場合が定時計測と重なってしまっている。記録時間を定時計測の場合より長くとった実験番号は、Exp. No. 97~100, 106, 113, 169, 170, 171~179 であるが、これが時化の時の臨時計測にはほぼ対応している。

4.2 航 海 状 況

実験番号順に風力階級、出会い風向 (絶対風向を出会い角に換算した風向)、平均船速およびピッチ角とロール角の全振幅の有義値 (H_{1/3}) を併示して Fig. 4.1-1~4 とした。Fig. 4.1-1 には往航の太平洋における状況が示されている。Exp. 10~18 (1月 1 日 9 時~1 月 2 日 16 時) ではロール角の有義値が平均約 12° 、ピッチ角では約 3° となつており中程度の時化であった。Exp. 46 が太平洋での最後の計測になっているが、この後 Exp. 47 の開始までパナマ運河の通過時間も含めて、約 7 日間計測を中止している。すなわち、この間非常に平穏であったわけである。

Fig. 4.1-2 には往航のカリブ海および大西洋で行なった計測が示されている。Exp. 55~58 (1 月 14 日 20 時~1 月 15 日 8 時) では斜め向い波のためピッチが大で、ピッチ角の有義値が約 3° に達している。また、Exp. 74~82 (1 月 17 日 24 時~1 月 19 日 8 時) では斜め追いうねりのため横揺れが大きく、ロール角の全振幅の有義値が約 12 度に達している。

Fig. 4.1-3 には復航の大西洋およびカリブ海での計測が示されているが、ビスケー沖から始まって Exp. 96~116 (2 月 1 日 24 時~2 月 5 日 3 時) の長期にわたり時化が続き、この間ピッチ角の有義値は約 3° 以上、ロール角は約 8° 以上の状態が続いている。なかでも Exp. 98~103 (2 月 2 日 7 時~2 月 3 日 1 時) ではまれに見る大時化であった。Exp. 100 ではピッチの全振幅の有義値が約 13° にも達している。この場合は大波高の向い波であったので、ロールは比較的小で全振幅の有義値で 13° となっている。また船速も 8 kts まで意識的に落している。もちろんこれが本航での最悪状態であったが、この状況については後にやや詳細に述べる。

Fig. 4.1-4 には復航の太平洋における実験を示した。開始は Exp. 134 となっているが Exp. 133 との間に約 7 日間のあきがある。すなわちパナマ運河の太平洋側では往航と同様に全く平穏であったからである。Exp. 149~156 (2 月 18 日 1 時~2 月 19 日 4 時) ではロールが大で、なかでも Exp. 150, 151, 152 では全振幅の有義値で約 26° となっており、本航でロールが最大になった場合である。このときの波は右舷 150° からの斜め追い波 (波高約 3 m) となっている。したがってピッチは小で有義値で 2° 程度である。次の荒天である Exp. 169~175 (2 月 22 日 8 時~2 月 23 日 8 時) ではピッチの有義値が約 4° に達し、本航では 2 番目の時化であった。斜め向い波、波高 5~7 m 程度であるが、スプレーが大なるため意識的な凌針を行なっている。この様子は前報 Fig. 4.2.2a の 2 月 21 日と 2 月 22 日の位置を結ぶ航路が直線でないことから判かる。

Fig. 4.1-1~4 を通して見るとほぼ 26 kts 以上の高速で全航海を走り抜いたことがわかるが、船速のバラツキは大である。すなわち往航の太平洋では 25~26 kts の場合が多く比較的低速で走っている。往航の大西洋では約 1 kt 船速を上げ 26~27 kts が大部分となっている。復航の大西洋では前半は時化で減速した日が多いので後半には時化の余波があったにもかかわらず約 27 kts も出している。復航の太平洋でも前半は遅れを取り戻すため 27 kts 以上の高速を出している。また、本図には示されていないが平穏な日には一日平均の船速で 27.8 kts にも達している (前報 Fig. 4.2-2 参照)。このように本航では本船は機関出力を平水時船速で約 25 kts~28 kts にもわたる広範囲

に意識的に調整して走っているので、今回の実験データはほぼ機関出力一定で走っている通常のライナの場合と同一視してはならないことに注意せねばならない。

4.3 全振幅、周期の統計的特性

全振幅に関する統計計算および平均周期の算出を前年度報告（研究資料 N.157 の 3.2、3.3）とほぼ同じ方法で実施した。

往航のうち、Exp. 1~64の解析結果を整理して、以下に概要を報告する。前節に見られるように、この範囲は全実験点の約1/3にあたるが、著しい荒天は入っていない。ここでは船体運動等の不規則現象が如何なる統計的性質を持つかということについて検討してみた。

全振幅の平均値 (\bar{H})、root mean square (Hrms)、有義値 ($H_{\frac{1}{3}}$)、高い方から $\frac{1}{10}$ の平均値 ($H_{\frac{1}{10}}$)、および最高値 (H_{max})について整理して、Fig. 4.2-1~10とした。主軸回転数 (Revolution)、主軸トルク (Torque) の変動値については左右舷でほぼ同じ特性を示したので、右舷軸 (S) の特性のみを掲げた。

Ray Leigh 分布の場合には、

$$H_{rms} = 1.129 \bar{H}, H_{\frac{1}{3}} = 1.598 \bar{H}, H_{\frac{1}{10}} = 2.032 \bar{H} \quad (1)$$

の関係があるので、図中にはこれらの線を記入しておいた。例えば 100 揺れ中の最大値の期待値 H_{100} などについては、次の式で与えられる。

$$\left. \begin{array}{l} H_{50} = 2.40 \bar{H} (\approx 2.27 \bar{H}) \\ H_{100} = 2.57 \bar{H} (\approx 2.45 \bar{H}) \\ H_{200} = 2.74 \bar{H} (\approx 2.62 \bar{H}) \\ H_{500} = 2.95 \bar{H} (\approx 2.83 \bar{H}) \end{array} \right\} \quad (2)$$

()内の値は前報に示した略算式による値である。今回の解析では数列は一様に約 15 分間となっているのに対し、平均周期は現象により相当差があるので、解析した揺れ数にも幅がある。したがって Fig. 4.2-1~10 には大約の揺れ数に対応する最高期待値の線を記入しておいた。

今回の解析では前報 P. 62 に示されているタイムヒストリーの説明図で X 印間も \bar{H} として採用している。

このように全振幅 (H) のとりかたが前報と異なるので、Ray Leigh 分布の線との一致度は前報の場合より悪いことが予想される。

Fig. 4.3-1~10 にはゼロ・クロスの平均周期 \bar{T}_0 とピクトウピークの平均周期 \bar{T}_m の関係を図示した。 \bar{T}_0 および \bar{T}_m の算出法は前報と同様である。

スペクトラム解析から求まる帯域幅パラメータ ϵ_s は n 次のモーメントを m_n とすると次式で表わされる。

$$\epsilon_s = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} = \sqrt{1 - \left[\frac{(\bar{T}_m)s}{(\bar{T}_{0,2})s} \right]^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_0} \right)^2} = \epsilon' \quad (3)$$

すなわち、スペクトラム解析から得られる ϵ_s と、上記の \bar{T}_m, \bar{T}_0 を使用して得られる統計解析による ϵ' はほぼ等しいことが期待できる（詳しくは前報 P. 65 参照）。

$0 \leq \epsilon \leq 1$ であり、 $\epsilon = 0$ では Ray Leigh 分布となり、前述の式が成立する。逆の場合 $\epsilon = 1$ では、Gauss 分布となる。 $0 < \epsilon < 1$ の例として海洋波の Neumann スペクトラムの場合すなわち、

$\epsilon^2 = 2/3$ ($\epsilon = 0.816$) の場合がよく用いられているが、この場合には、

$$H_{rms} = 1.957 \bar{H}, H_{\frac{1}{3}} = 2.370 \bar{H}, H_{\frac{1}{10}} = 3.223 \bar{H} \quad (4)$$

$$H_{50} = 3.90 \bar{H}, H_{100} = 4.22 \bar{H}, H_{200} = 4.52 \bar{H} \quad (5)$$

となり、有義値、最大期待値等の \bar{H} に対する係数は、(1), (2) 式に示した Ray Leigh 分布の場合に比し大になる。

ここに注意したいのは、よく使用されている表現では H_{rms} に対する係数で表示されているので、

$$\bar{H} = \frac{1}{1.129} H_{rms} = 0.886 H_{rms} (\epsilon = 0) \quad (6)$$

$$\bar{H} = \frac{1}{1.957} H_{rms} = 0.511 H_{rms} (\epsilon = 0.816) \quad (7)$$

のようになり、例えば有義値は、

$$H_{\frac{1}{3}} = 1.416 H_{rms} (\epsilon = 0) \quad (8)$$

$$H_{\frac{1}{3}} = 1.211 H_{rms} (\epsilon = 0.816) \quad (9)$$

となり、前掲(1)、(4)式の \bar{H} に対する係数とは ϵ の相違による大小関係が逆転する。

$\epsilon = 0.816$ の場合には H にマイナスのものが入ってくるので、 \bar{H} は同一の H_{rms} に対して H がプラスのみである $\epsilon = 0$ の場合より小となる[(6)、(7)式]。今回の解析では半振幅の解析のようにマイナスの H を定義していない。したがって(7)式（もともとは半振幅の式）ではマイナスとして取り扱われる H もプラスになっている（このような H を無視すると Ray Leigh 分布に近くなる。前報ではそのような計算を行なっている）。故にこのような解析法では $\epsilon = 0.816$ の場合に $\bar{H} = 0.511 H_{rms}$ なる関係は成立しないだろう。むしろ $\epsilon = 0$ の場合には H はプラスのみであるから、(6)式に近いことが予想される。

$\epsilon = 0.816$ の場合のよう ϵ の大なる場合には今回の解析に採用した H に難点があるので、 \bar{H} でなくて $H_{\frac{1}{3}}$ をベースに考えることにして、(4)、(5)式から $\epsilon = 0.816$ について次式の関係を得る。

$$H_{\frac{1}{3}} = 1.360 H_{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

$$H_{50} = 1.64 H_{\frac{1}{3}}, H_{100} = 1.78 H_{\frac{1}{3}}, H_{200} = 1.91 H_{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

同様な表現を Ray Leigh 分布 ($\epsilon = 0$) ですると、 $H_{500} = 2.07 H_{\frac{1}{3}}$

$$H_{\frac{1}{3}} = 1.271 H_{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

$$H_{50} = 1.50 H_{\frac{1}{3}}, H_{100} = 1.61 H_{\frac{1}{3}}, H_{200} = 1.71 H_{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

となる。すなわち有義値に対する係数は $\epsilon = 0$ の場合の方が小である。

前述の類推から $\epsilon = 0.816$ の場合でも $\epsilon = 0$ の(6)、(8)式が成立するすれば、 $H_{\frac{1}{3}} = 1.598 \bar{H}$ となる。この仮定と(10)、(11)式の関係から次式を得る。

$$H_{\frac{1}{3}} = 1.36 H_{\frac{1}{3}} = 2.173 \bar{H} \quad (14)$$

$$H_{50} = 2.62 \bar{H}, H_{100} = 2.84 \bar{H}, H_{200} = 3.05 \bar{H}, H_{500} = 3.30 \bar{H} \quad (15)$$

Fig. 4.4-1～10には(3)式の ϵ' と \bar{T}_m/\bar{T}_o の関係を示した。算式からわかるように 4 分円上に点が分布する。
 $\epsilon' = 1$ では縦軸上、 $\epsilon' = 0$ では横軸上に点がくる。例として使用している $\epsilon = 0.816$ の場合は、 $\bar{T}_m/\bar{T}_o = 0.577$ となる。なお、 $\epsilon = 0.8$ では $\bar{T}_m/\bar{T}_o = 0.6$ である。 $\epsilon = 0$ の Ray Leigh 分布が与える(1)式の係数は適合範囲が割り合いで広い事が知られている。今、かりに $\epsilon = 0.8$ 従って $\bar{T}_m/\bar{T}_o = 0.6$ を Ray Leigh 分布の適合範囲の境界であるとすると、明らかに Ray Leigh 分布の適合範囲内にある現象は、Heave Acc., Sway Acc. の 2つで、逆に明らかに範囲外のものは Roll 角、Yaw 角、Rudder Angle, 船速変動の 4つで、Pitch 角、Surge Acc. 回転数変動、トルク変動の 4つは両範囲にまたがっている。このように予想外に ϵ が大で、Ray Leigh 分布によく適合する場合が少ないことが示されている。

Fig. 4.2 の全振幅の図に ϵ が Ray Leigh 分布の適合範囲内にある Heave Acc., Sway Acc. については(1)、(2)式の直線を記入してみたが、実測値とよく適合することが判らう。

明らかに $\epsilon > 0.8$ の現象については、 $H_{\frac{1}{3}}$ に対する $\epsilon = 0.816$ の場合の係数、すなわち(14)、(15)式の $H_{\frac{1}{3}}$ 、 H_{max} をも記入して見たが、Ray Leigh 分布の場合に比し一致度がよい事が判明した。ただし、大部分が、 $\epsilon > 0.9$ である Yaw Angle, Rudder Angle の場合には $H_{\frac{1}{3}}$ 、 H_{max} の値はさらに大きく(4)、(5)式の関係に近いようである。

両範囲にまたがっていた 4 現象は、いずれも $\epsilon' > 0.9$ のような極端な場合が殆んどないので、 $H^{1/2}$ 、 H_{max} では(14)式の関係を適用できるようである。

Fig. 4.2 に示した現象の \bar{T}_0 は短くて 5 sec 程度であるので、揺れ数は多くても約 200 である。したがって Ray Leigh 分布に近い場合には(2)式からわかるように H_{max} は \bar{H} の 3 倍以下である。また、 $\epsilon' < 0.9$ では(15)式が成立するすれば、 H_{max} は \bar{H} の 3 倍を越えることは稀である。ところが、Fig. 4.2 では \bar{H} の 4 倍近い値が大分見られる。すなわち、 H_{max} に關しては ϵ' が大なる場合には(5)式の関係に近い場合が相当数あることを示していよう。

Fig. 4.3 の平均周期の図には $\frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_0} = 1, 0.6$ の直線を記入しておいた。この線は $\epsilon' = 0, 0.8$ に対応するので前述の仮定が成立するとすれば、この 2 つの直線の間にある点は Ray Leigh 分布に近い特性を与える。Fig. 4.4 と同様に Ray Leigh 分布から離れる現象はどれであるかがよく判かる。

\bar{T}_0 の値は当然のことであるが加速度で小であり、なかでも Heave Acc. が特に小で、10 sec 以下となっているのが目立つ。 \bar{T}_0 が 5 ~ 25 sec の範囲におさまっている現象が多く、ピッチ角、ロール角、三つの加速度、船速変動、回転数変動、トルク変動がそれである。これらに対し、Yaw 角、舵角は 10 ~ 90 sec と著しく広範囲になってしまいと同時に 20 ~ 40 sec 程度の長周期の場合が多い。また、この 2 現象では \bar{T}_m が 5 ~ 7 sec の小範囲に集中していることが目立つ。このようにこの 2 現象は他の現象と異なる特性を持つようである。回転数変動と船速変動の \bar{T}_m も 4 ~ 7 sec にほぼおさまっている。これは主機特性に関連があらう。

\bar{T}_0 が 80 sec にもなると今回解析した長さのタイムヒストリーでは山の数が 10 個程度の少数になってしまい。したがって、Yaw 角、舵角の解析結果には他の現象に比し信頼度が落ちるもののが含まれているとみなせる。

4.4 スペクトルの特性

今年度の解析は 4.3 に述べた計算をほぼ全実験点について行ない、その結果を見て興味ある実験点および時化の時にについてスペクトル解析を行なう予定であったが、4.3 の計算に予想外に手間取ったため、スペクトル解析と 4.3 の解析を密接に関連づけて計算することができていないので、充分なる結果は得られていない。

以下に現在までに得られている結果の一部を述べるが、未完の分は次年度に継続して解析を行ないたいと考えている。なお、スペクトルの数値計算法は前報の場合とほぼ同様であるが、クロススペクトラム、コーヒーレンシーおよび 2 つのオートスペクトラムの比（レスポンスと称している）なども算出している。なお、前述のように全振幅などの統計解析に使用した数列と全く同じものを使用して数値計算されているので、両者の対応に便である。

Fig. 4.5-1 には往航、Fig. 4.5-2 には復航の Ro11 角のスペクトラムの代表例を示した。これらはいずれも向い波中の場合であるので、Ro11 角は比較的に小であるが、Ro11 角の固有周期で動搖することが推察される。図中に $T_R = 0.7 B / \sqrt{GM}$ として算出した固有周期に応する周波数の位置を記入しておいたが、スペクトラムのピークはほぼこの位置にあり、周波数帯域も狭く予想に一致している。

Fig. 4.6 には向い波中の Pitch 角のスペクトラムを重ねて記入してあるが、Ro11 角と異なり周波数帯域は広く、ピークの位置もまちまちである。Pitch 角はその時の海況に左右されていることが判からう。

Fig. 4.7 には向い波中の Yaw 角、Fig. 4.8 には舵角のスペクトラムの例を示したが、この両者とも 20 sec 以上の長周期成分が大部分であり、特に 50 sec ~ 100 sec のような長周期域にピークがあるのが目立つ。この特性は Fig. 4.3-3, 4 で \bar{T}_0 が他の現象に比し大であったことと一致するが、 \bar{T}_m が示した傾向は Yaw 角のスペクトラム上では舵角の Exp. 10.6 にのみ見られる。ただし前述のようにこの 2 現象の解析結果は信頼度が落ちるので、再検討の必要があろう。

KM丸の試験は本船にトルク計が装備されていたので、船速、主軸回転数と共に主軸トルク（2 軸分）の測定ができたことが特色の一つになっている。スペクトラム計算では、これらの量の変動分のみを解析したわけである。Fig. 4.9-1 ~ 3 には船速変動、回転数変動、トルク変動のスペクトラムを比較して示した。Fig. 4.9-1 の Exp. 36 の場合に

はスペクトラムの形は三者ほぼ一致している。Fig. 4.9-2 の Exp. 60 ではやや不明確ではあるが次の Exp. 171 と同様な傾向が見られる。Fig. 4.9-3 の Exp. 171 では周期約 9 sec の位置に三者ともピークがあり、その附近での形状は似ている。しかし、船速変動のみは周期 40 sec の低周波数の所にもう一つの著しいピークがあり、9 sec の所のピークは回転およびトルク変動に基くものであるが、40 sec のピークは他の現象（例えば Yaw 角）の影響を直接受けているものと思われる。

Fig. 4.10-1～3 には Fig. 4.9 と同一の実験番号について船速変動と Pitch 角、Roll 角、Yaw 角のスペクトラムを比較して示した。Fig. 4.10-1 の Exp. 36 では、船速変動は Pitch 角と Yaw 角に関連があることがわかる。Fig. 4.10-2 の Exp. 60 では船速変動は Yaw 角から一番影響を受けるように見える。Fig. 4.10-3 の Exp. 171 では Pitch 角の影響を受けた高周波数でのピークと、Yaw 角の山の近くの低周波数でのピークの 2 つが明らかに存在する。

このように船速変動には数 10 秒オーダの著しい長周期の成分と 10 秒程度の低周期の成分とが混在しているが、低周期成分はピッチ角（船体縦運動）に密接な関係がありそうである。この低周期成分は船速変動、トルク変動、回転数変動の三者間にも密接な関連があるが、長期成分は船速変動のみに存在する。これは主機関系の時定数と、船体サージング系の時定数あるいは操縦運動の時定数にこの程度の差があるからであろう。

次節に掲げた大風浪中の場合 (Fig. 4.12-1, 2) でも船速変動を含めてこの三者は船体縦運動（ピッチ角、Heave Acc.）と密接な関係にあることが明白に示されているが、船速変動のみは著しい長周期領域にもう一つのピークを持っているのが目立つ。

4.5 大風浪下意識的減速の効果

実験番号 100 番を頂点とする荒天は、本航、本船のみでなく、一般的に考えても“まれに見る大時化中の航行”であったと考えられる。なお、この時化は大海域を占め、航路の正面から到来しました港を出たばかりで時化を避けるための凌針をしにくい状況であったので、荒天航法として減速しかない状況であった。

そこで Exp. 95～106 の間、すなわち減速前 (Exp. 95) から船速を徐々に下げ、最低船速にまで落した状態 (Exp. 100) を経て、徐々に船速を上げて完全に旧に復した状況 (Exp. 106) までの間をクローズアップして Fig. 4.11-1, 2 として全振幅の統計解析値を示した。この図から何故船速を落したか、何故に船速を上げてよいと判断したかを読み取ろうというわけである。

Exp. 100 以後、上昇していない現象あるいはむしろ下降ぎみの現象は、それらの現象がその程度に抑えられたので、ステップバイステップに増速して行ったと推察できる。この類に入る現象として Pitch 角、Yaw 角、Heave Acc., Sway Acc., Surge Acc., 船速変動、トルク変動、回転数変動があげられる。むしろこのたぐいに入らない現象が少なくて、ロール角と舵角があげられるのみである。この時化はほぼ正面向い波の目測波高 10 m 程度の大風浪だったので、当然のことながらロール角が増減速の原因とはなっていない。舵角も同様で操船困難が減速の理由になっていない事を示していよう。

これらの現象のうち、Exp. 100 以後で明らかに下降している現象は増速してもこれらが逆に減りつつあるので、増速したとも考えられ、Exp. 100 以後ほぼ一定であった現象より意識的減速の原因として重要な現象であるとも云える。この分類に入る現象は Pitch 角、Heave Acc., Surge Acc., トルク変動、回転数変動である。

Exp. 100 以前、すなわち減速中を見ると、Exp. 98 で Heave Acc., Surge Acc., Sway Acc., すなわち計測したすべての加速度が最大になっている。Exp. 95, 96, 97, 98, と順次減速して来たが、これらの加速度は相変わらず増加するので、この時の船速は約 18 kts とほどほどの速度であったが、さらに思い切った大減速へふみきったと考えられる。その結果として Pitch 角、Roll 角、Yaw 角、舵角は明らかに増大したが、加速度はいずれもあきらかに減少している。また、船速変動、トルク変動、回転数変動も Exp. 98 を境にして減少へ向かっている。

このように見えてくると、ほぼ減速前に相当する Exp. 95, 96 およびほぼ増速を終った Exp. 103, 104, 105 の状況の中でも特に加速度の値が意識的に減速するかしないかの境目の値を与えるものと推察される。これらの状態で加速度は全振幅の有義値で Heave Acc. 約 0.5 g, Surge Acc. 約 0.05 g, Sway Acc. 約 0.05 g となっている。この難航は向い波中であるから、Sway Acc. の値の意味は少ない。Surge Acc. の有義値 0.05 g なる値は、Fig. 4.2 → 7 には見当らない程の大きさである。

減速の第一要因であると思われる船首被波にもっともよく対応する船首での上下加速度を測定していなかったので、減速基準としての船首上下加速度の値を示し得ないのは残念である。

増速完了後の値をとると、全振幅の有義値でピッチ角は約 5°、ロール角約 8°、ヨー角約 2° となっている。この中で意識的減速との関連で重要なのはピッチ角の値であるが、全振幅の有義値で 5° なる値は相当に大なる値であるにもかかわらず、増速しているということはピッチ角は意識的減速の第 1 原因でなかったということであろう。

Exp. 106 はやや減速している状態であるがそれ以後さらに船速を落していないので、上記の状況を減速の限界状況と見てよいであろう。もちろん、横波、追い波などの意識的減速があるとしたら、おのずから対象になる現象、限界量が変ることは申すまでもない。

Fig. 4.12-1 に Exp. 100, Fig. 4.12-2 に Exp. 106 の各現象のスペクトラムを重ねて記入して見た。Exp. 100 は平均船速 8 kts すなわち本船の出しうる最低船速で波に船首を向けて波の間に間に漂っているような状況だったので、ピッチ角、Heave Acc., Surge Acc. の縦運動関係の現象は周波数帯域および型も似ており、一様に周期 20 sec ~ 10 sec の間にピークを持っている。これらのスペクトラムの型はその時の海洋波のスペクトラムとも類似しているものと想像される。船速変動、トルク変動、回転数変動も縦運動のスペクトラムと類似している。Fig. 4.12-1 と 2 との同一現象は同じスケールで書かれている。この事に注意すると Exp. 100 の船速、トルク、回転数の変動分の平均値（平均船速など直流分）に対する割合は著しく大であることが理解できよう。

Fig. 4.12-2 の Exp. 106 では平均船速は約 24 kts である。したがって、船体縦運動（ピッチ角、ヒーブ加速度、サーチ加速度）は高周波数域へ移動し、周期 10 sec ~ 8 sec の間にスペクトラムのピークが納まっている。Exp. 100 と同様に船速変動、トルク変動、回転数変動のスペクトラムと縦運動関係のそれとは関連性に豊むことが示されている。Exp. 106 でも意識的減速寸前の相当な難航であったことは前述した通りであるが、Exp. 100 のスペクトラムと較べると相当に小である。この事は逆に Exp. 100 の運動が如何に大であったかを改めて認識させる。

ちなみに、Exp. 100 の数値解析した数列内での全振幅の最高値（および有義値）は、ピッチ角 16.2° (10.6°) ロール角 16.1° (10.6°)、ヨー角 2.8° (1.9°)、ヒーブ加速度 1.07 g (0.71 g)、スウェー加速度 0.09 g (0.05 g) サーチ加速度 0.21 g (0.12 g) となっている。最高ピッチ角は片振幅約 8° にも達し、丁度ロール角と同じ値になっている。いかにピッチングが激烈であったかを物語っている。最高ヒーブ加速度は片振幅で約 0.5 g もある。これは計測コンテナでの値であるので、船首での上下加速度は片振幅 1 g に達している可能性がある。さらに最高サーチ加速度が片振幅で 0.1 g もあるのは驚異と言えよう。なお、Fig. 4.12 に記入されている H_{1/3} の値と、ここで記した値は若干異なる。これは統計解析とスペクトラム解析による計算法の差によるものである。

Exp. 98 から急激に減速しているが、Exp. 98 での全振幅の最高値（有義値）はヒーブ加速度 1.2 g (0.82 g) スウェー加速度 0.22 g (0.15 g)、サーチ加速度 0.27 g (0.15 g) となっており、Exp. 100 よりいずれも高く、減速の効果があったことがわかる。

Exp. 106 ではヒーブ加速度 0.36 g (0.27 g)、スウェー加速度 0.18 g (0.09 g)、サーチ加速度 0.06 g (0.03 g) と著しく低くなってしまい、増速してもよい状態になっていた事がわかる。

ここまで書いて来て、思い出して前報 3.13 の「意識的減速と船体運動」の項を見直してみると、

「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」なる仮説が記載されている。この説は偶然にも今回の類推と非常に内容が似ているばかりでなく、上下加速度の限界値も近い値で

ある。今回の上下加速度は人工水平台上の上下加速度であり、また計測コンテナ設置位置（船体中央部 0.33 L 後方）での値であるので、この仮説に採用されている床に直接設置した加速度計による船首の値より低く出ることは明らかである。しかし、おおまかには前報の仮説を本船型にもそのまま適用できそうである。

以上の類推をまとめてやや S.F. 的に荒天航法の経過をたどると、Exp. 96（2月2日0時、25 kts）では真夜中で視界もあまりきかないが、体に感じる加速度、シャターの頻度などから減速を開始することにした。Exp. 97（2月2日4時、22 kts）では減速したにもかかわらず、体に感ずる加速度は衰えず、シャターは益々激しくなるので、さらに減速をする。Exp. 98（2月2日7時、18.5 kts）では夜も明け始め外が見えるようになるとまさに大海化であるのをまのあたりに見て、もちろん船首への被波の激烈さも見せつけられて、また、加速度、シャターも一層大になる傾向にあると思われたので、さらに大幅減速へと踏み切る。Exp. 99（9時～11時、14.5 kts）では減速の効果が現れ、上下加速度は減り揺れがやわらかくなつたような気がするが、ピッチ角は増し、シャター、船首被波も減らないので、Exp. 100（11時～12時、8 kts）へとさらに大幅に船速を落す。この効果として上下加速度が減り、ピッチ角が増した。（今までの波を突っ切って進んでいるような感じが脱け）船は波の間に間に浮き沈みしているような感じとなる。したがって運動はさらにやわらかくなり、船首被波にも鋭さと迫力が少なくなってくる。

このような状況に耐えること約2時間で空は明るくなり、風もおさまり、波がしらのアワの糸は見られなくなったので、試みに船速をやや上げて Exp. 101（16時、11 kts）となる。ところが上下加速度は減り気味で、シャター等も増加の傾向はないので Exp. 102（2月2日、20時、20 kts）では大幅に增速したが、特に支障は起きないのでさしもの大海化もおさまりかけていると判断し、Exp. 103（2月3日1時、23 kts）ではさらに增速、Exp. 104（2月3日4時）では通常船速へ戻した。この間約丸一日であったが、一日一週の思いぐらいの長さを感じた。特に Exp. 98～100 の間は当直以外の者は全員ブリッジで臨時当直をしたような状況で、船長以下一波一波をかたずを飲んで見守っていた。

この減速は夜中に始まり、夜中に增速を完了している。そして減速開始時と、增速完了時の Heave 加速度の全振幅の有義値が約 0.5 g であった。夜中には海面状況は見えない。船首被波は白波になった部分だけは意外によく見えるが、一般には当直航海士が体で感じる上下加速度が減速判断の第一要因になっているのではないであろうか。

さて、大海化とは大時化のことである。実は前報は KM 丸の船内で書いたが、辞書を引くのが面倒で、横にいた御仁に“シケのケは化けるだったね”と一応確めて、何のためらいもなく“しけ”を“海化”と書いた。海に化かされたわけである。今改めて辞書を引くと“時化”となっている。時雨のたぐいの当字らしい。どうせ当字なら大海化の方が感じが出るので改めて大海化と書いた。“しける”は海の場合は“海化る”で海が化けるのである。特にあの“おおしけ”は大海化がぴったりであった。

本航では荒天を避けるために変針と小減速を併用した場合が Exp. 169 附近にある。この場合は復航の日本に近くなってからの事もあり、スケジュール上でも余裕があったので早目に変針、減速している嫌いがあるが、減速あるいは変針の境目の状況では Heave Acc. は、全振幅の有義値で約 0.3 g となっている。この値もこのような状況を考慮すると前述の仮説に近い値と言えよう。

Photo. 4. 1、2 として、ビデオテープに収録された Exp. 99 の画像を示した。画面の中に示されている数字は 34071219 → 34日7時間12分19秒の意味であり、東京出港以来の積算時間を表わしており、
34日7時間 → 2月2日10時に対応している。

ビデオテープレコーダは停止画面にすることができるので、時間表示の秒単位が変わったびに写真をとり、2秒おきの画面を並べたのが Photo. 4. 1、2 である。ここに示したものは映画の一コマごとの写真と同じであるので不鮮明であるが、動く画面では迫力のあるよい映像になっている。

目で見て相当に白波が立っていても、このような全景を写した広角画面では白波が貧弱なものになってしまふものであるが、この画面では明らかに迫力のある白波が見える。如何に大風波であったかということを示している。

ビデオテープをとっている時には必ずデータ・レコーダで記録を行なっているので、今回の解析では行なっていないが両者の対応が可能である。

4.6 あとがき

以上のように鎌倉丸による実船試験で得られたデータを解析して、船体運動などの統計解析値の大要およびスペクトラムの傾向などを示すことができた。

しかし、きめの細かい解析や理論値との比較などは今年度報告には間に合わなかった。K M丸の実船試験では滅多にない大船体運動を記録できているので、解析を本報の段階で打切るのは惜しいので、次年度でも解析を継続するつもりである。

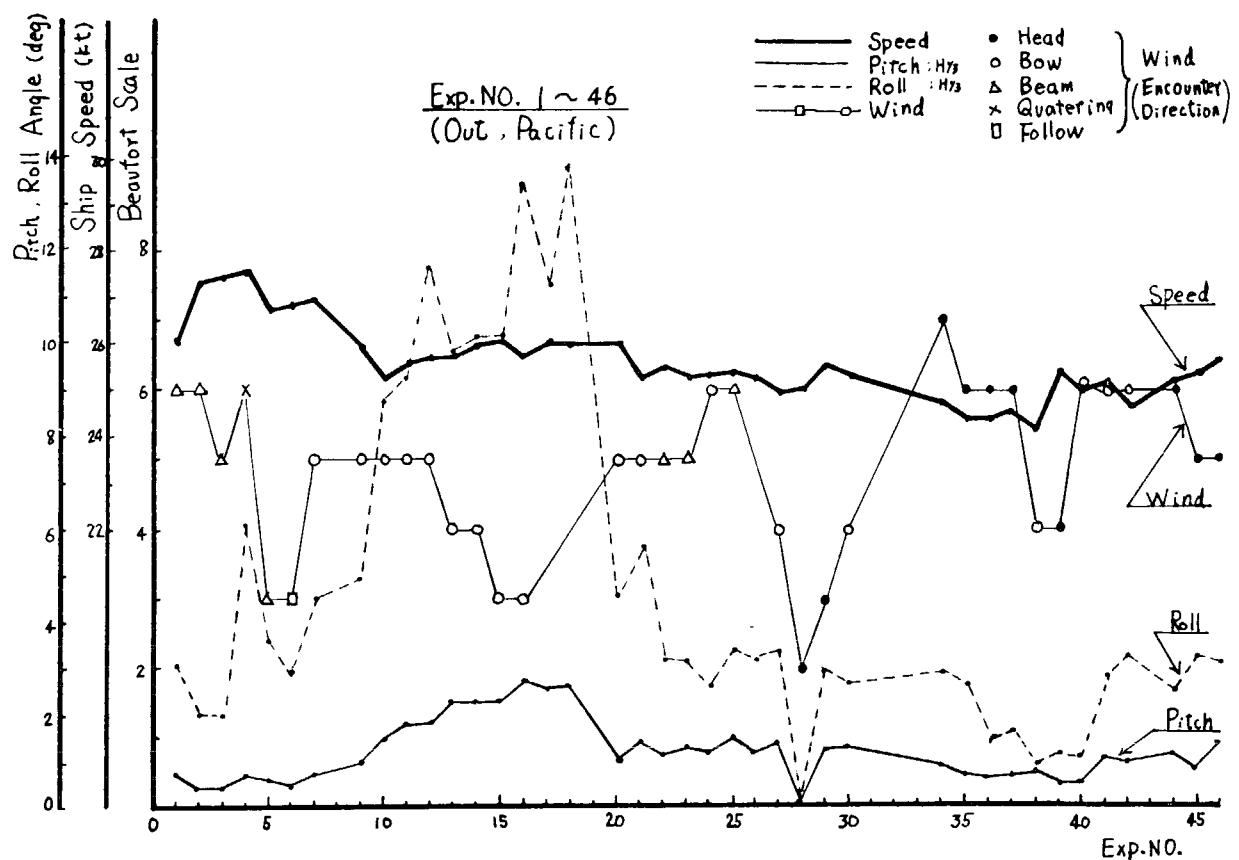


Fig. 4.1.1

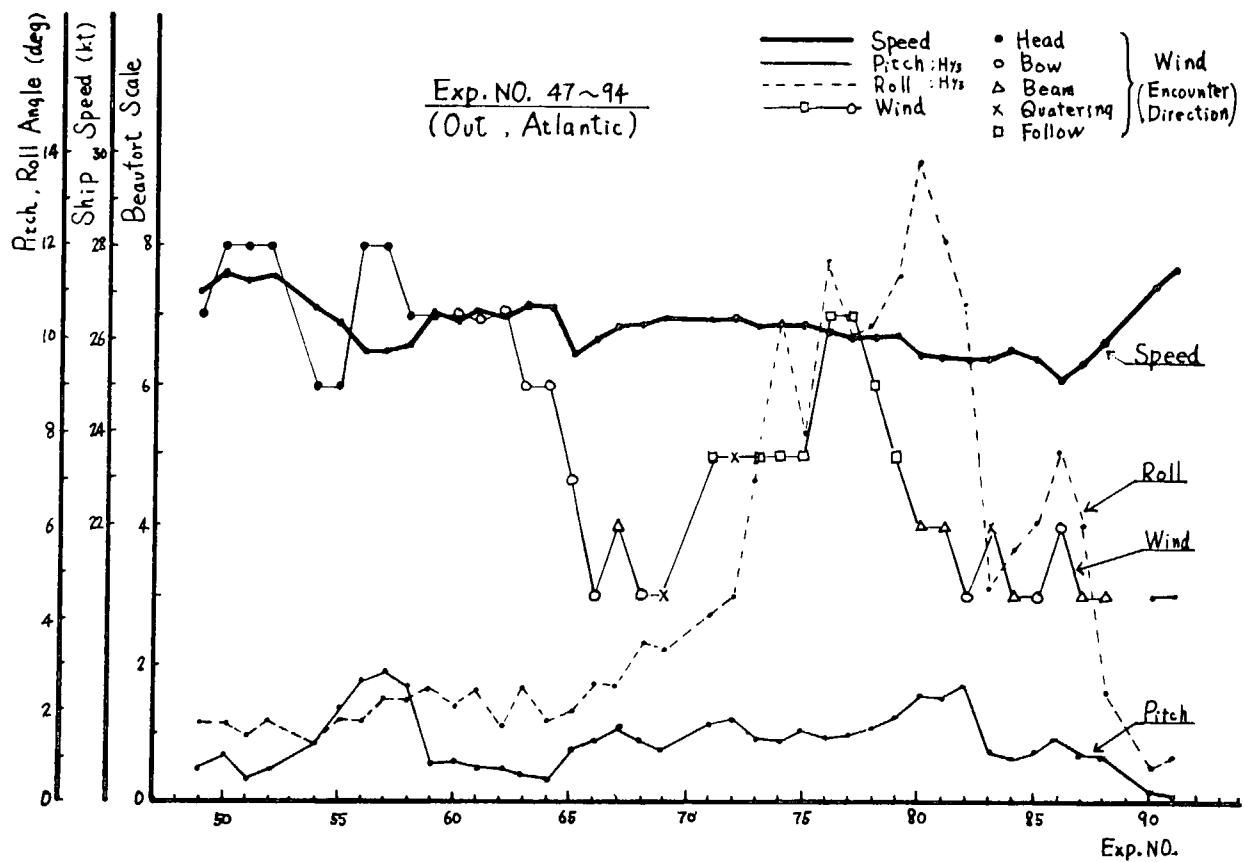


Fig. 4.1-2

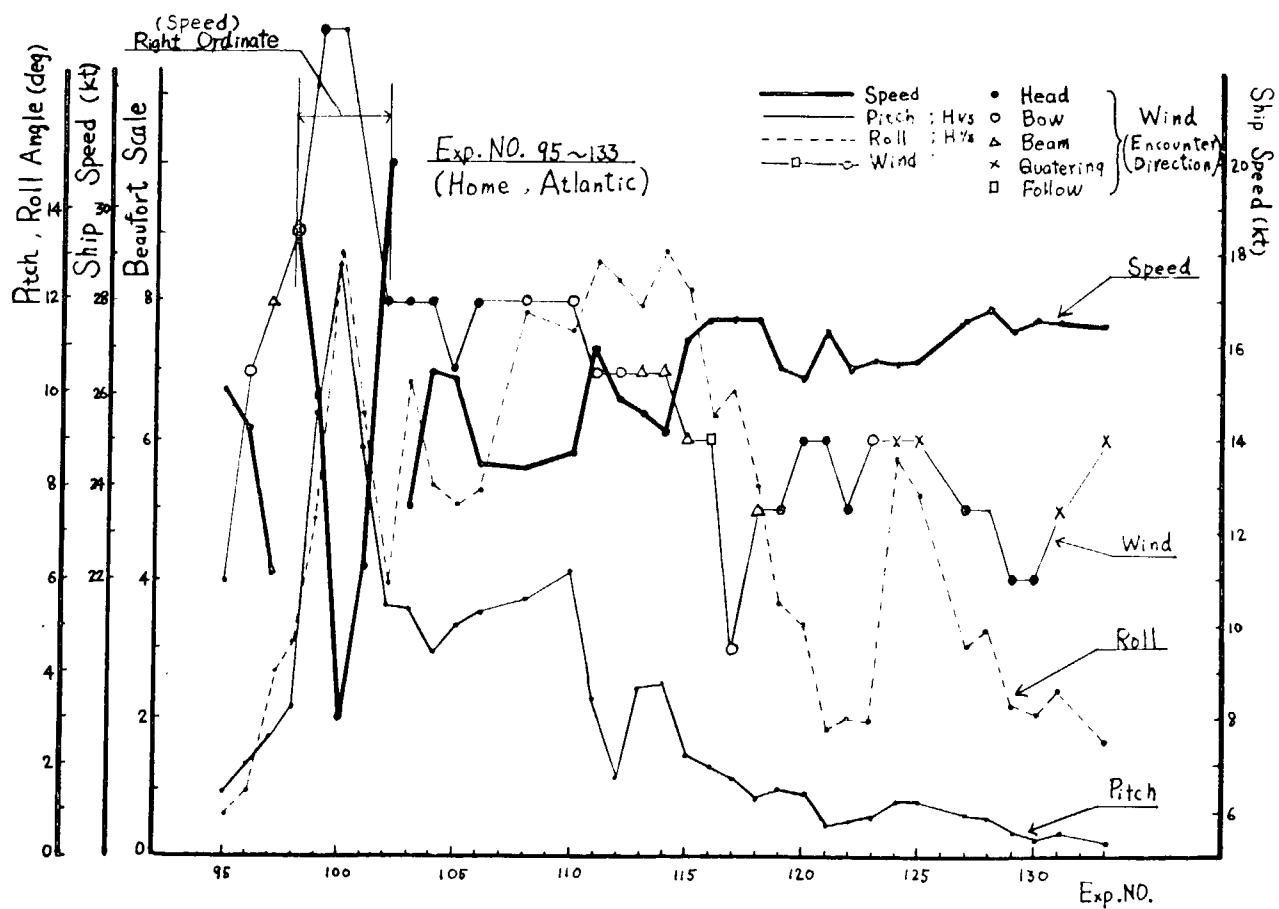


Fig. 4.1-3

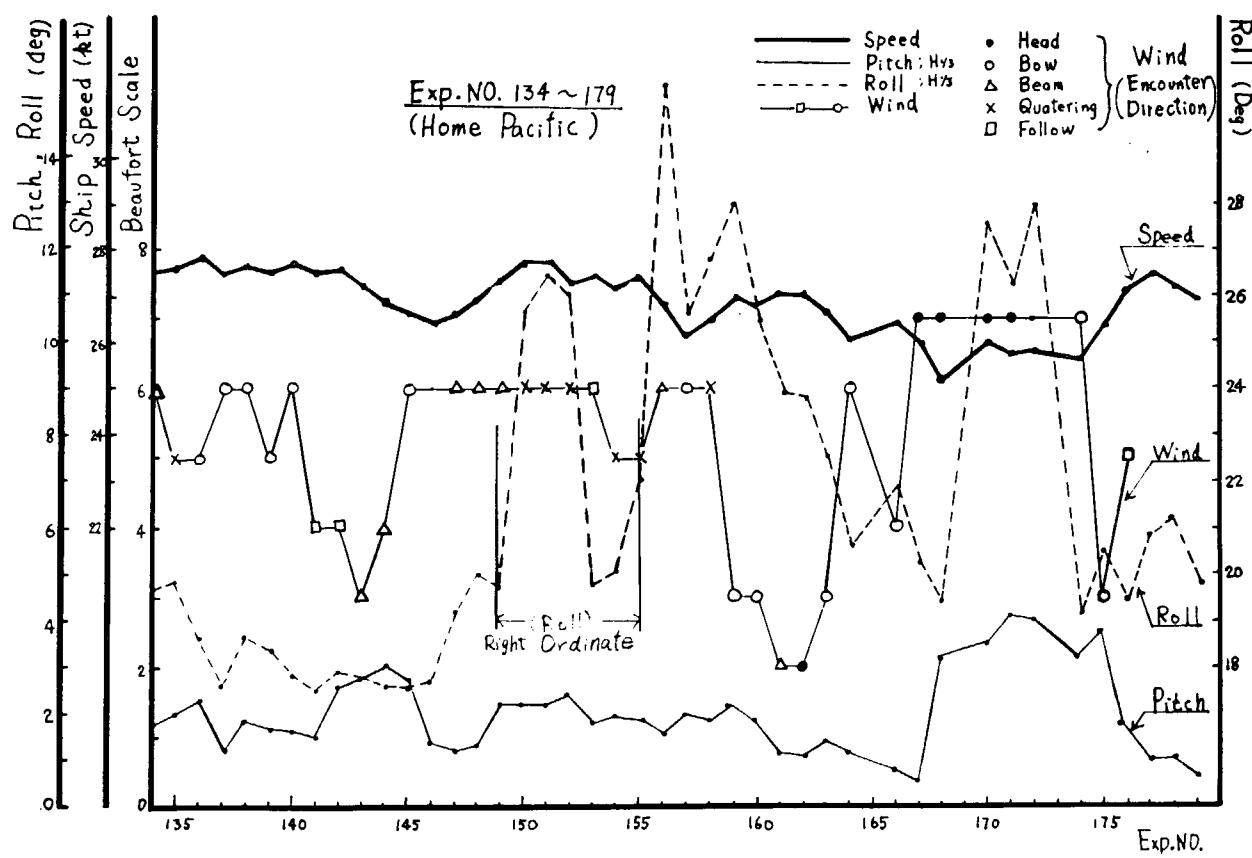
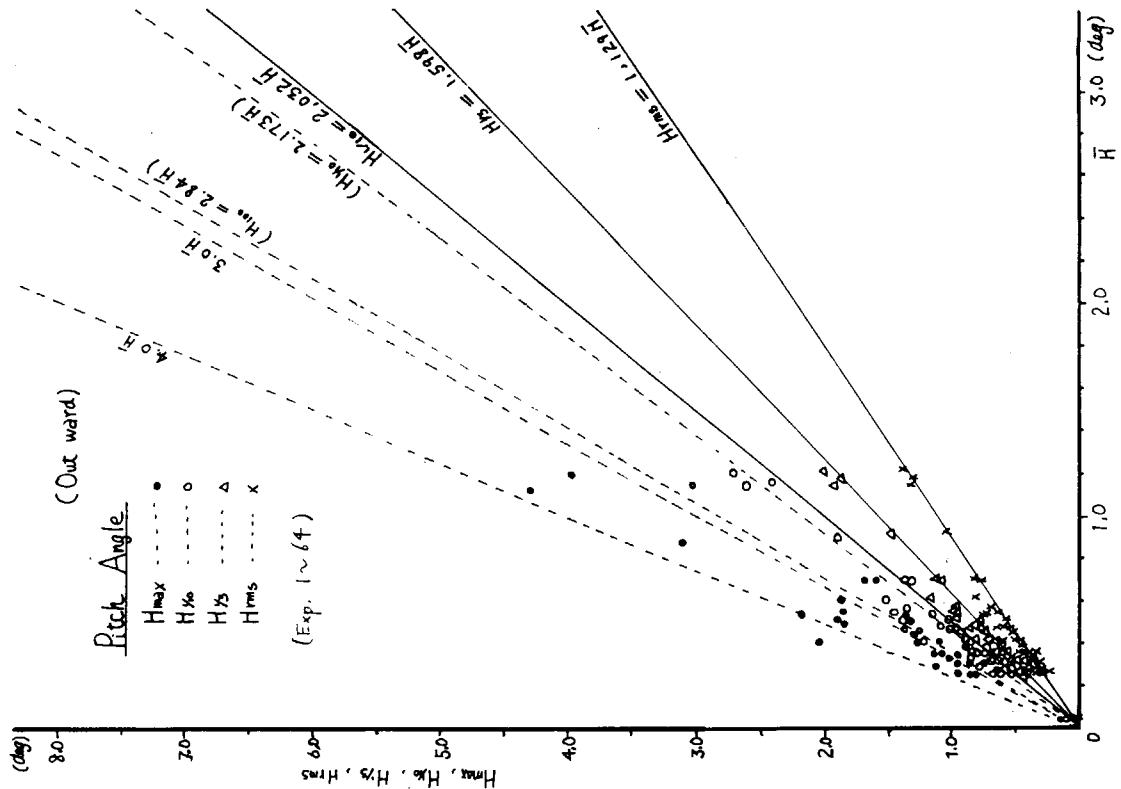


Fig. 4.1-4



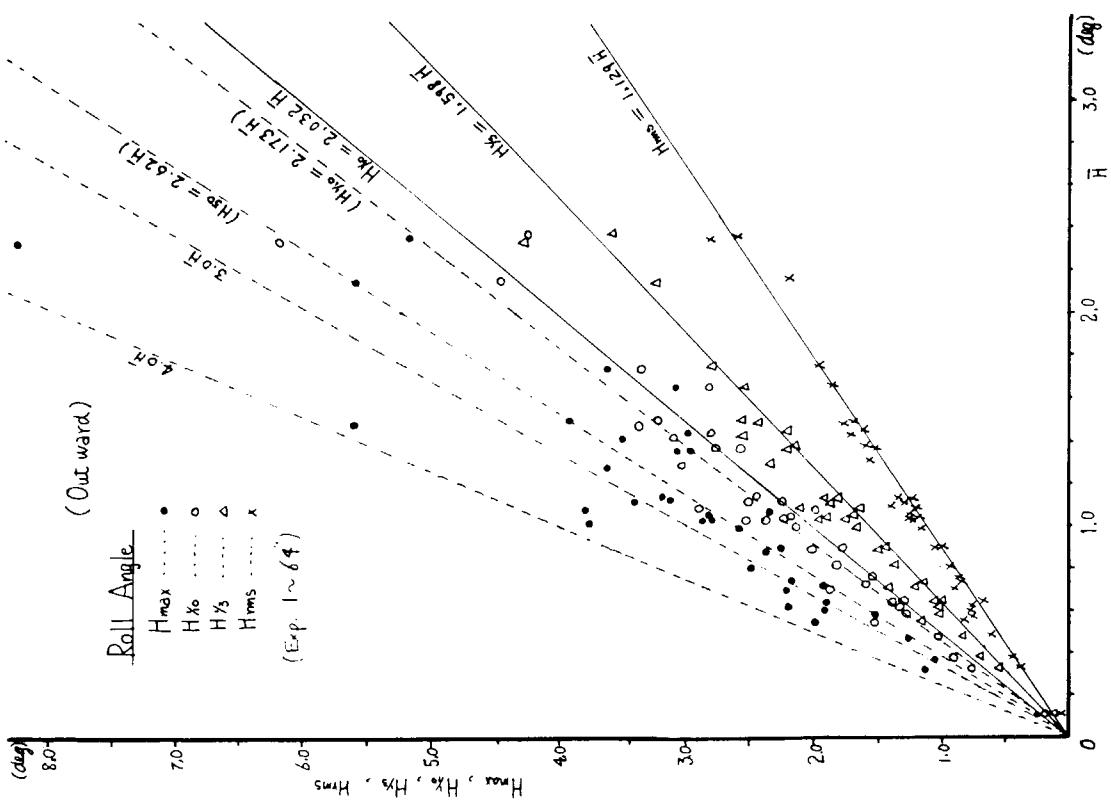


Fig. 4.2-2

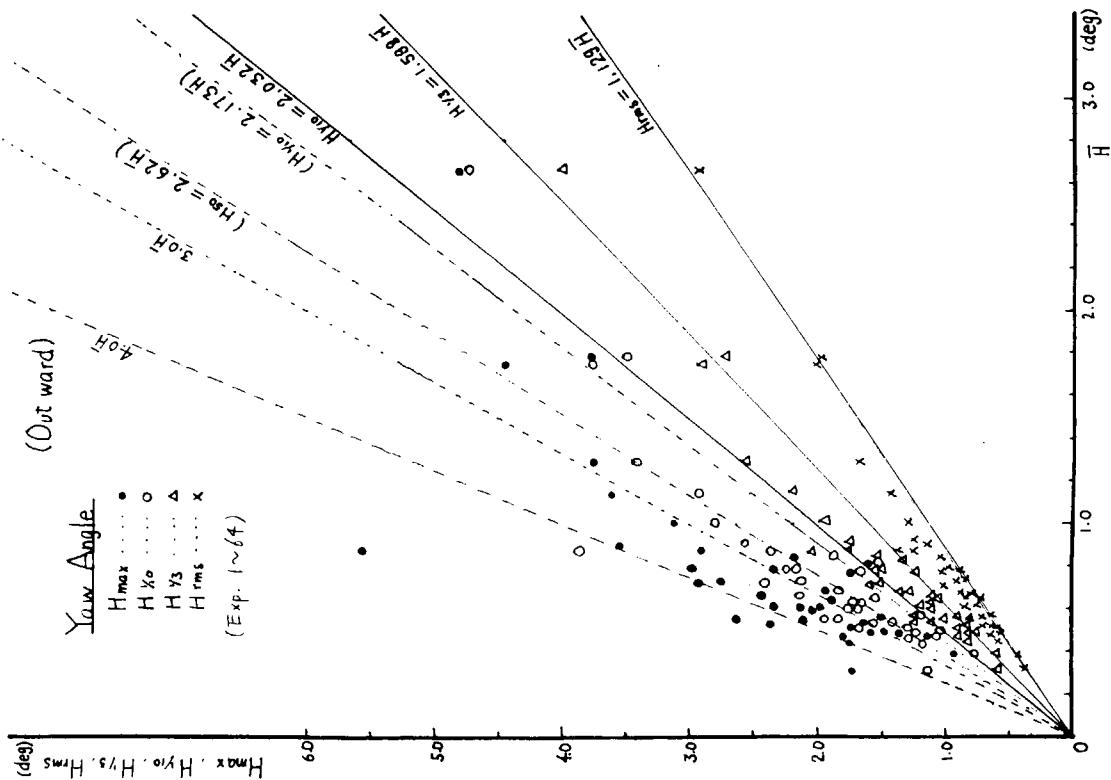


Fig. 4.2-3



Fig. 4.2-5

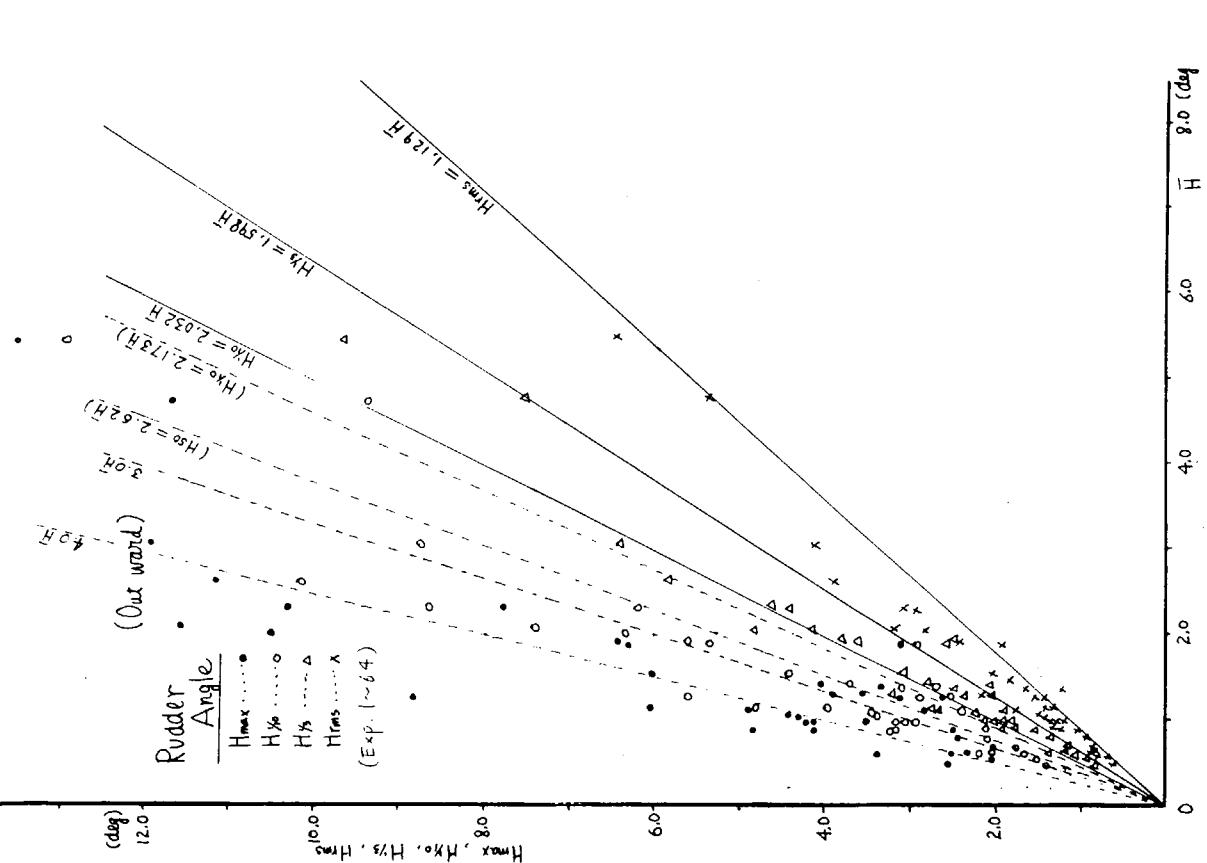


Fig. 4.2-4

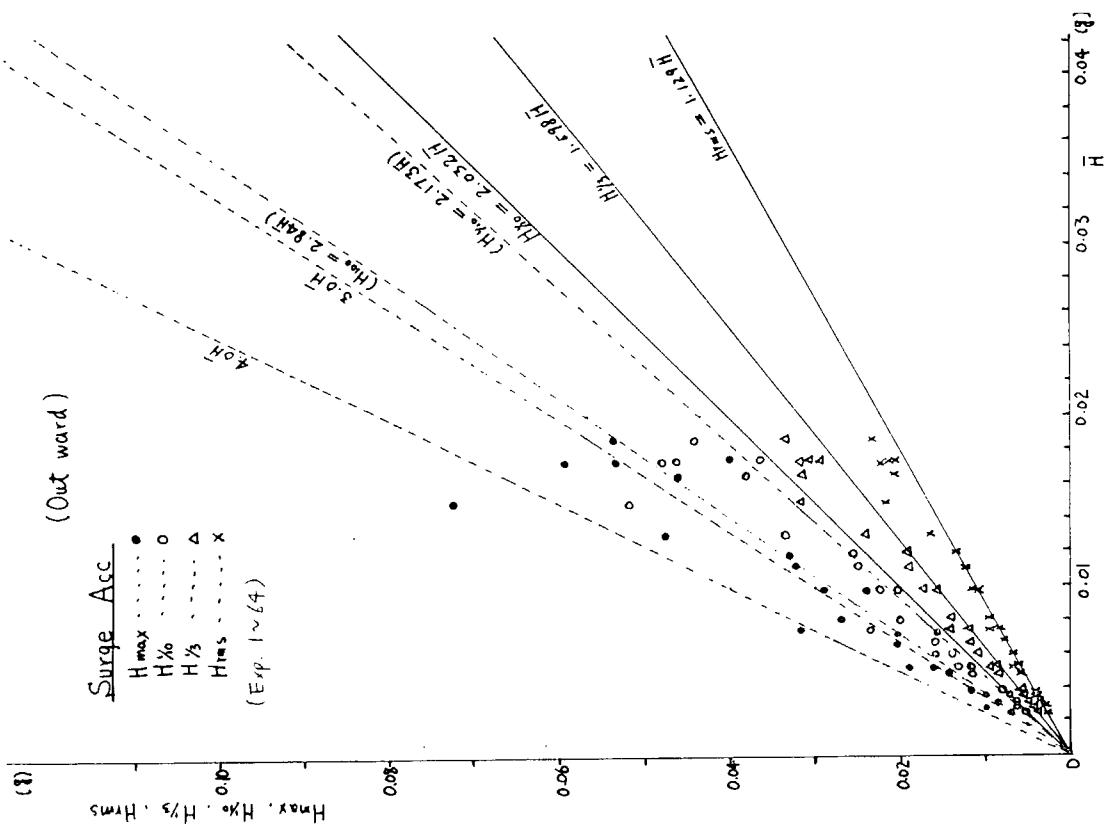


Fig. 4.2-7

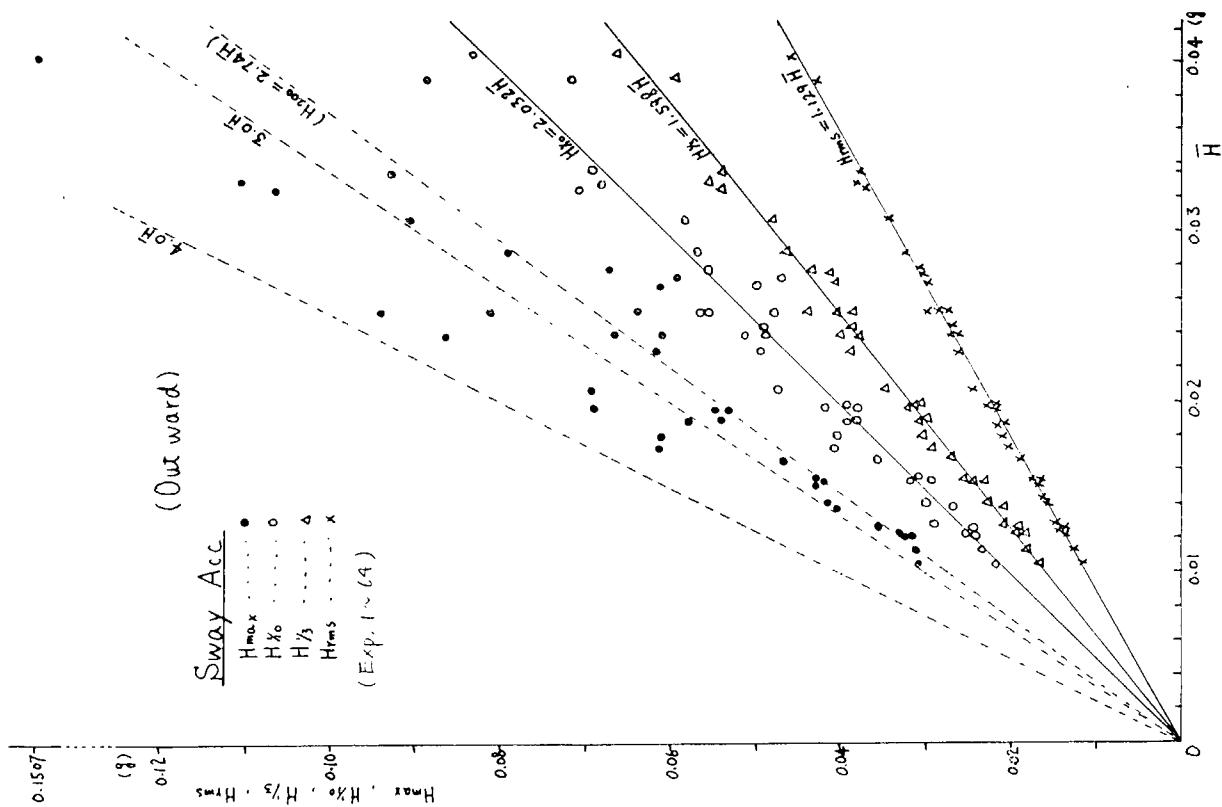


Fig. 4.2-6

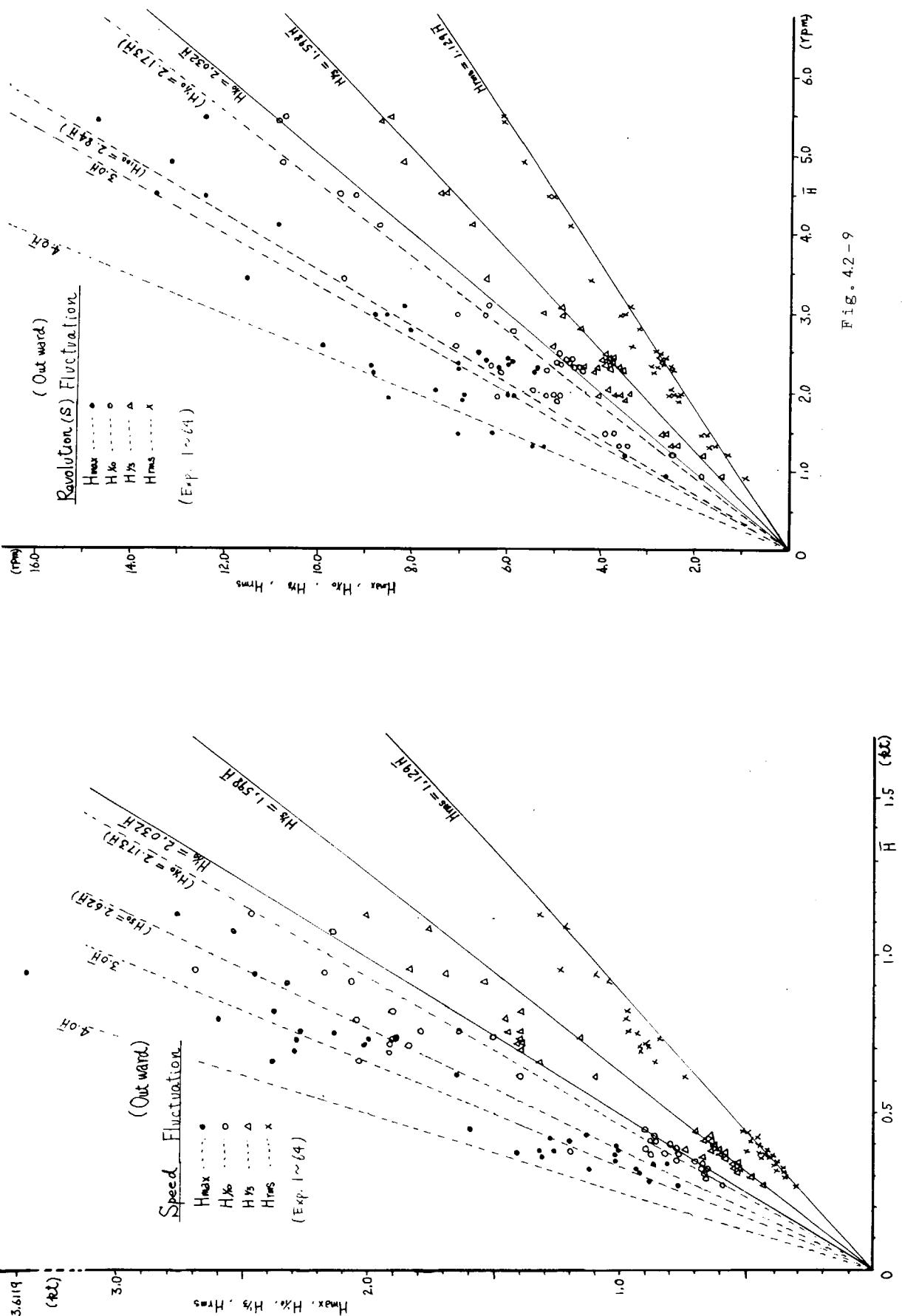


Fig. 4.2-9

Fig. 4.2-8

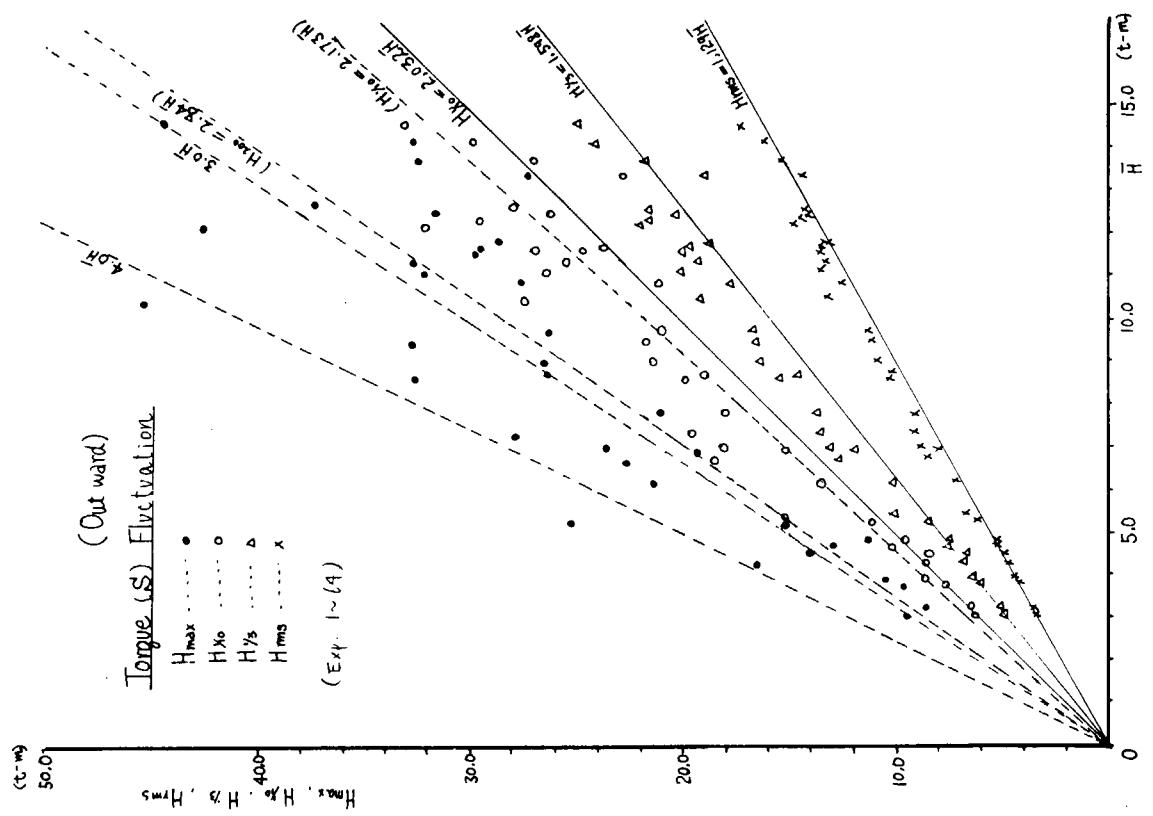


Fig. 4.2-10

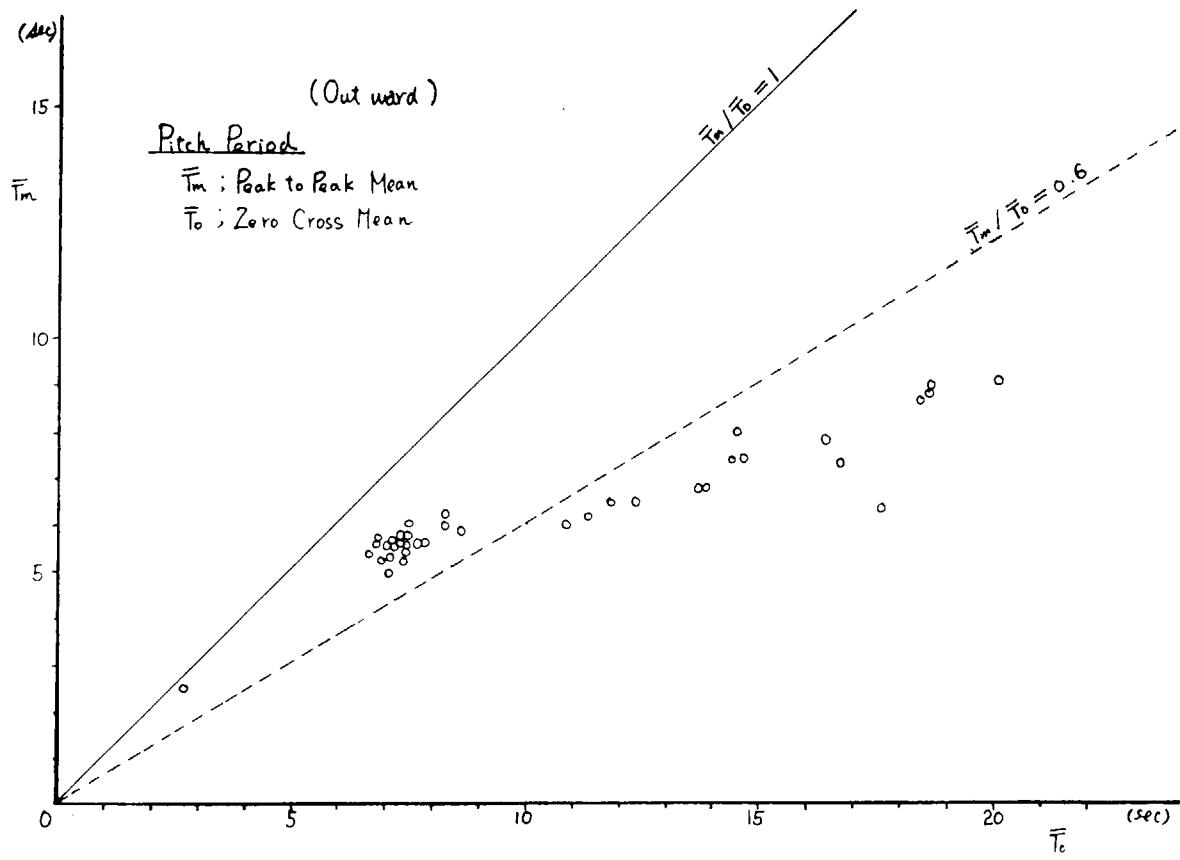


Fig. 4.3-1

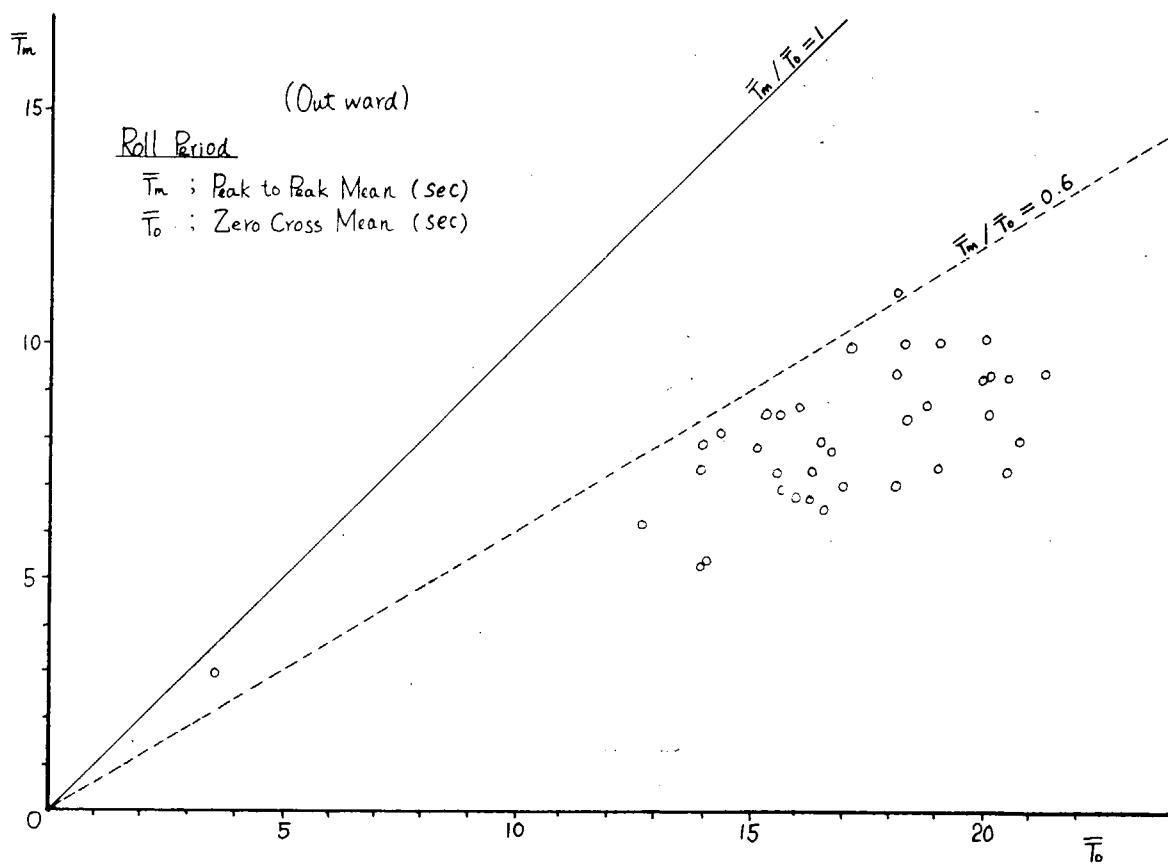


Fig. 4.3-2

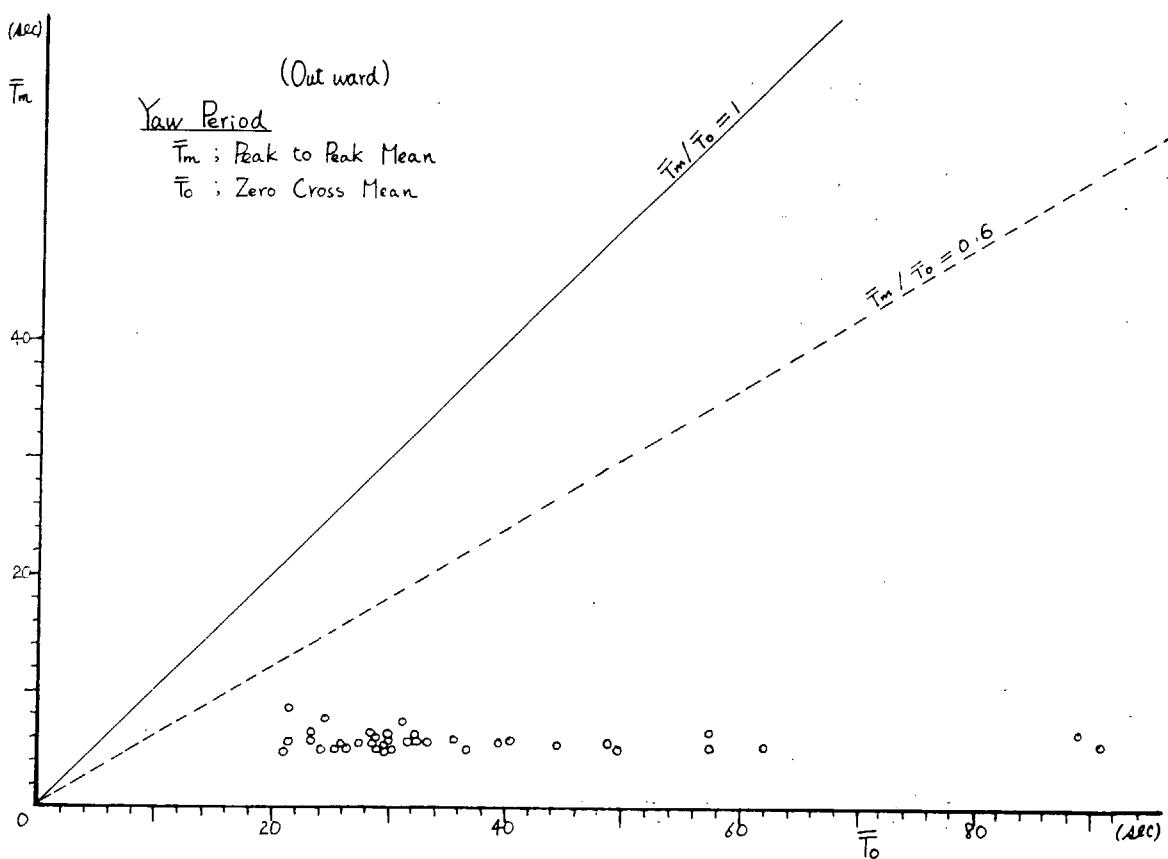
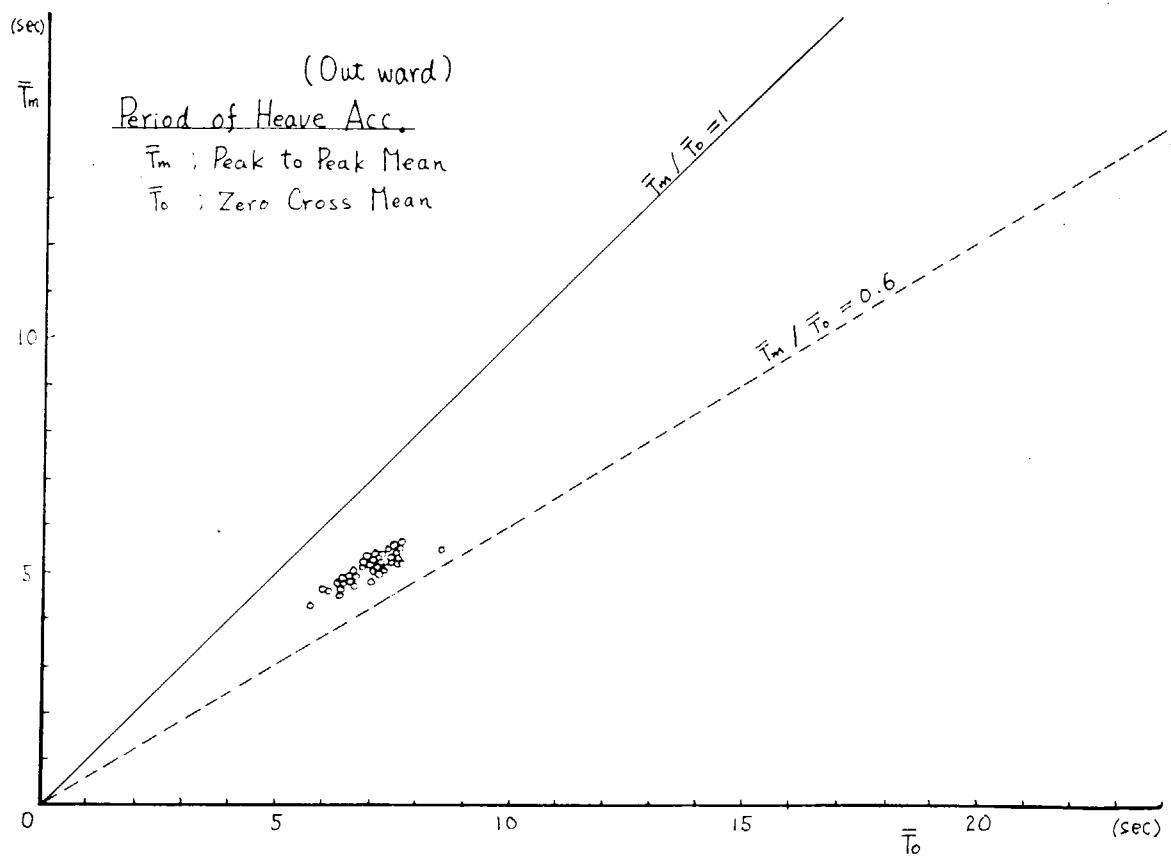
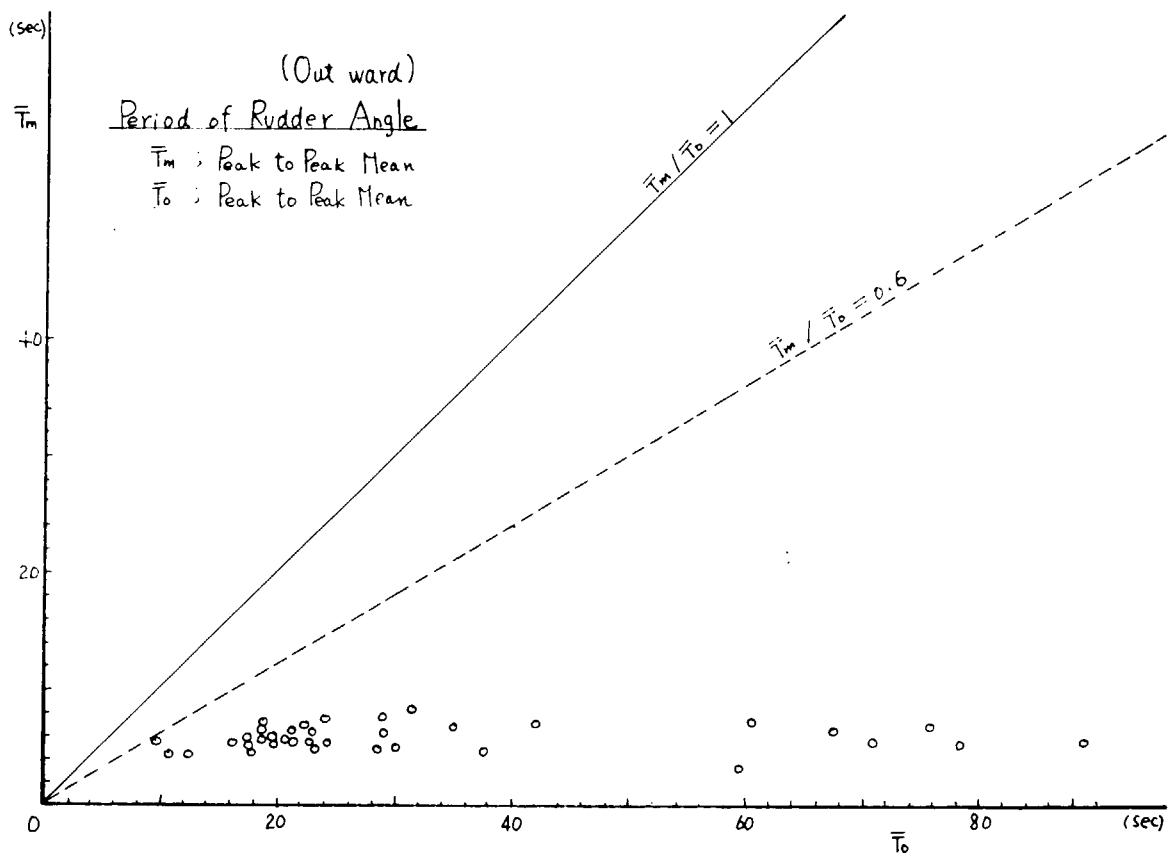


Fig. 4.3-3



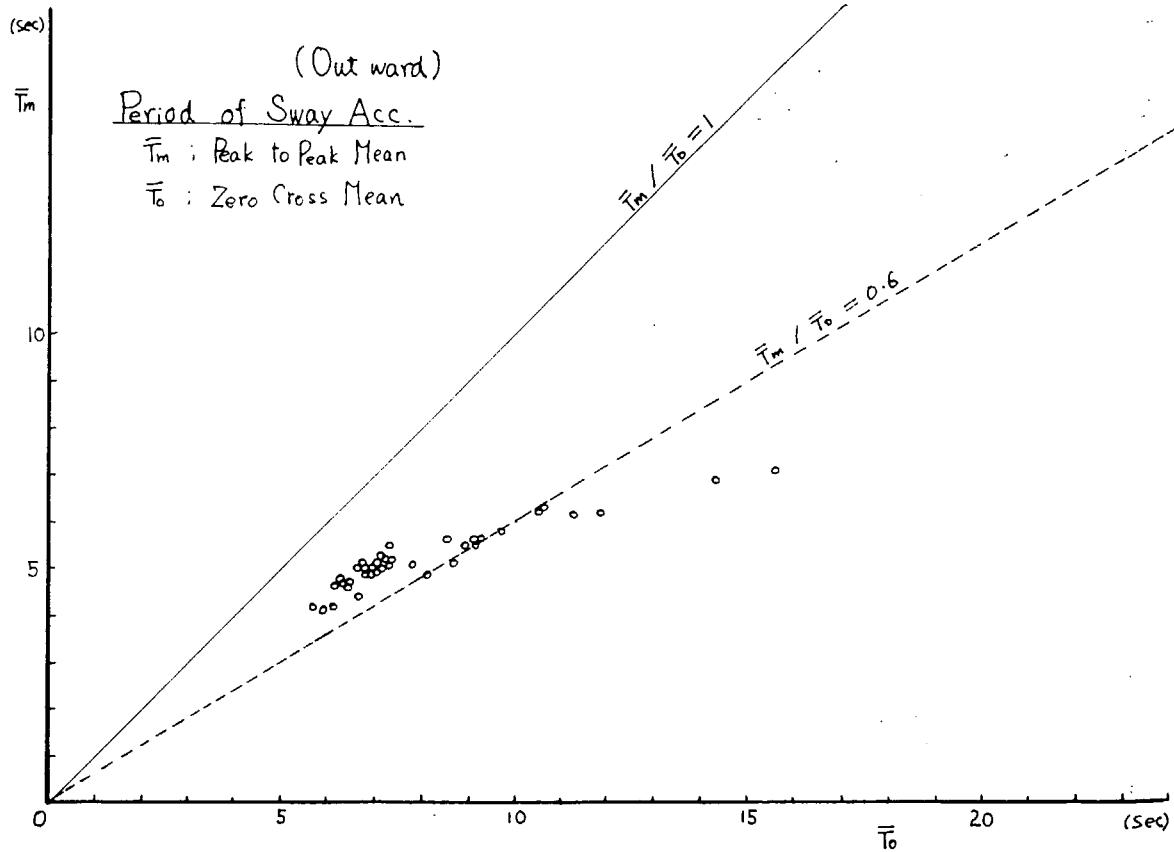


Fig . 4.3 - 6

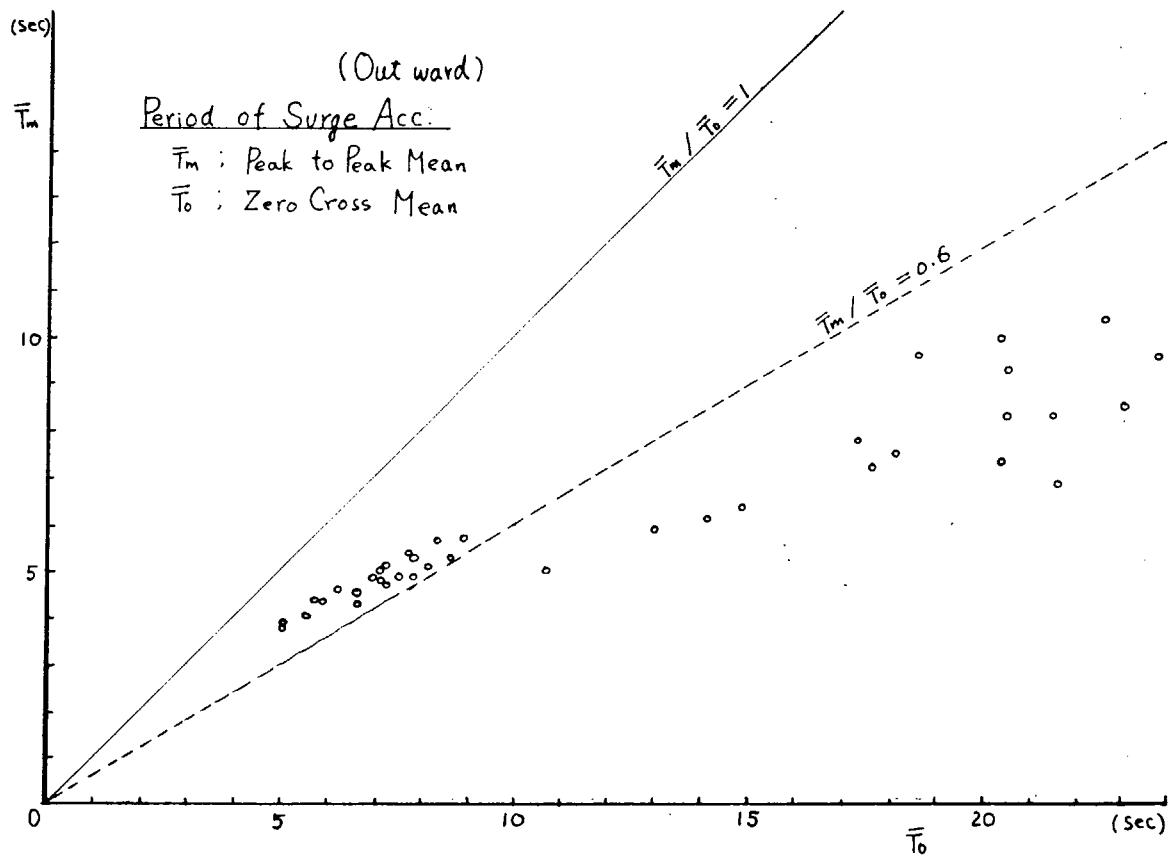


Fig . 4.3 - 7

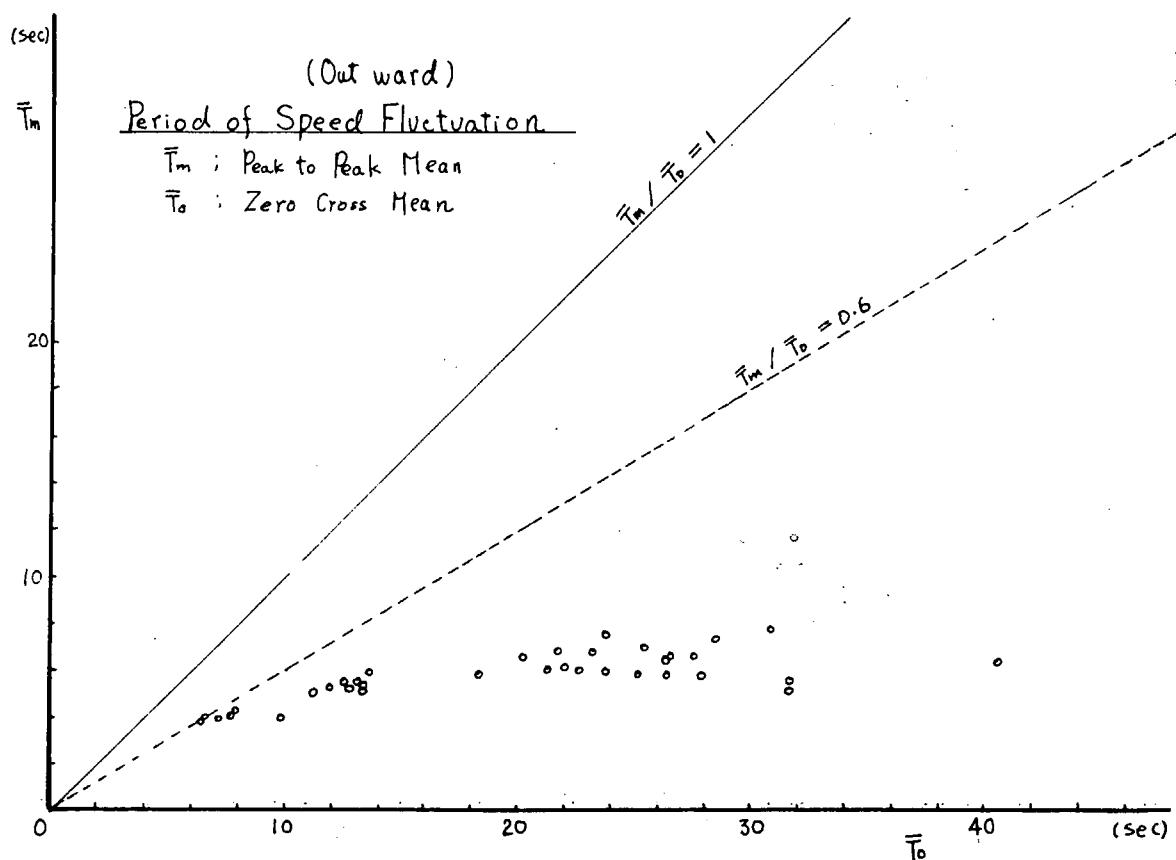


Fig. 4.3-8

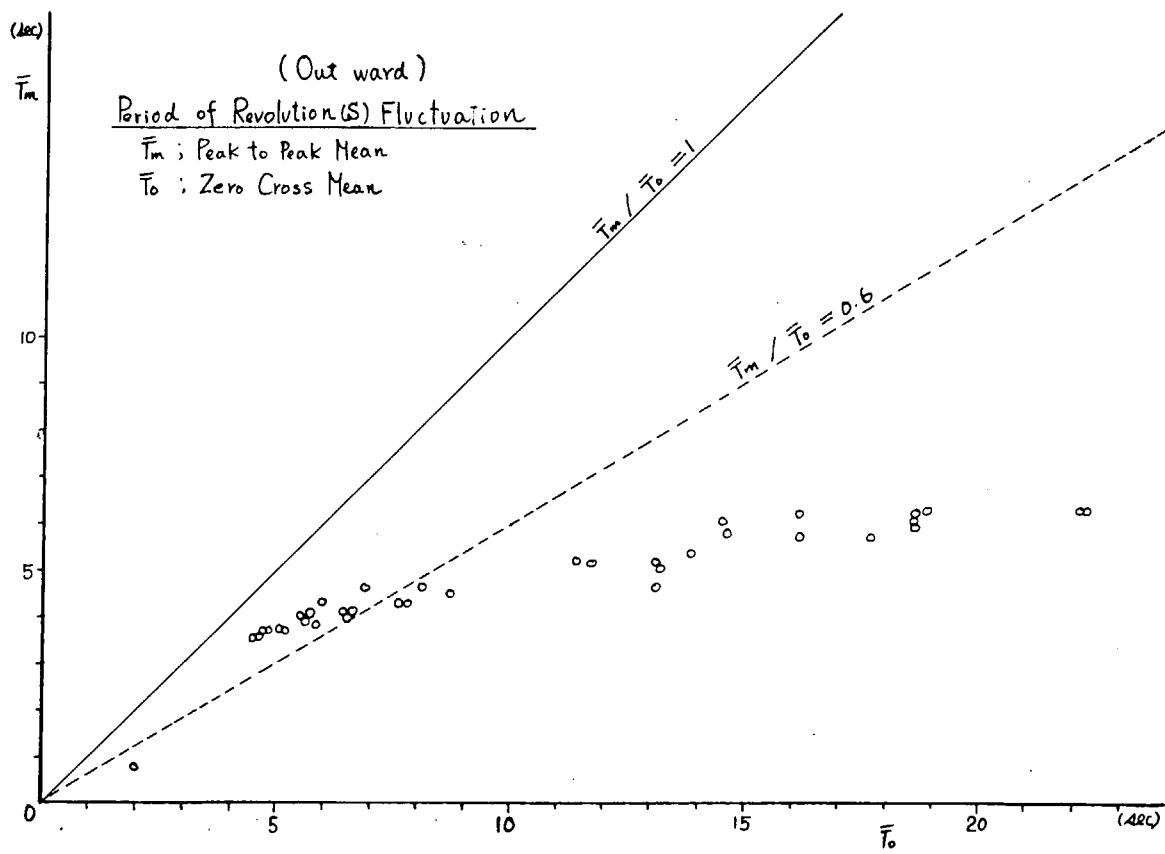


Fig. 4.3-9

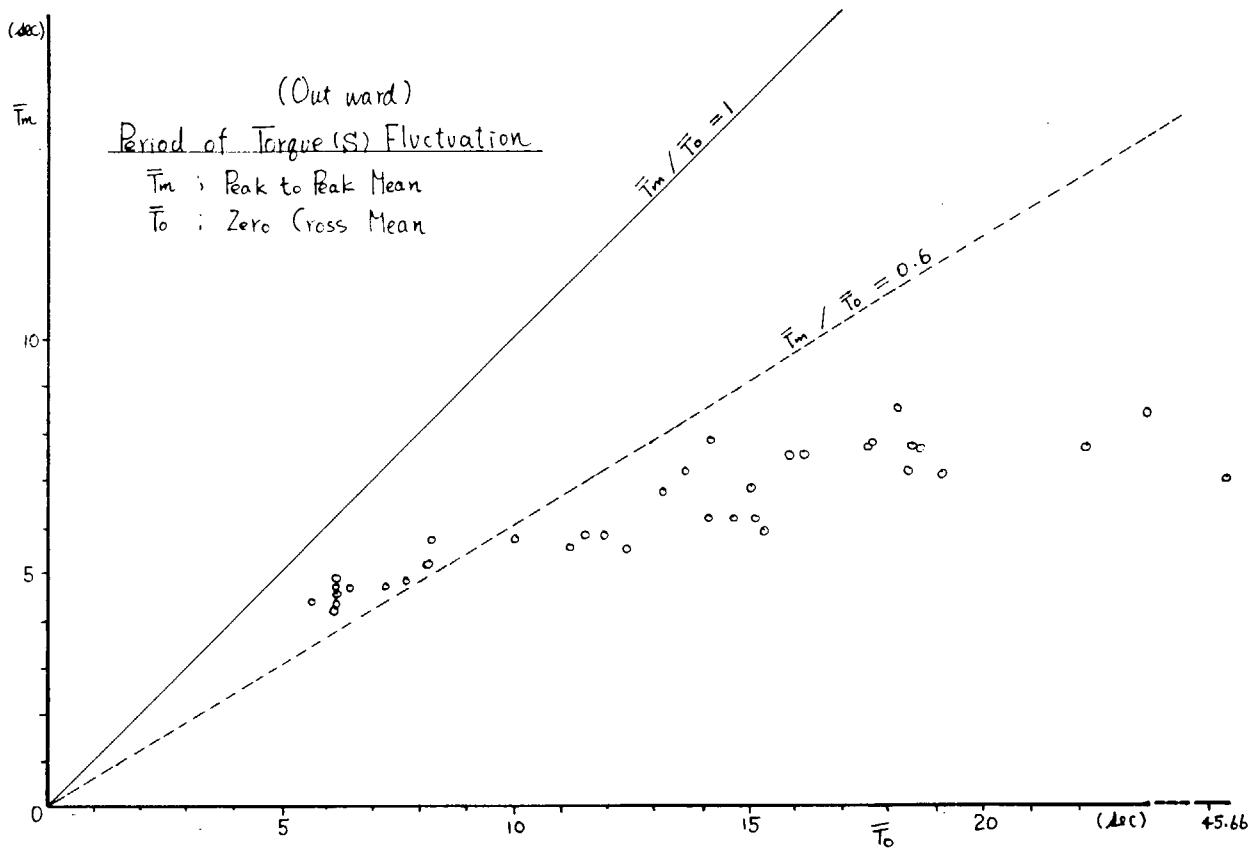


Fig. 4.3 - 10

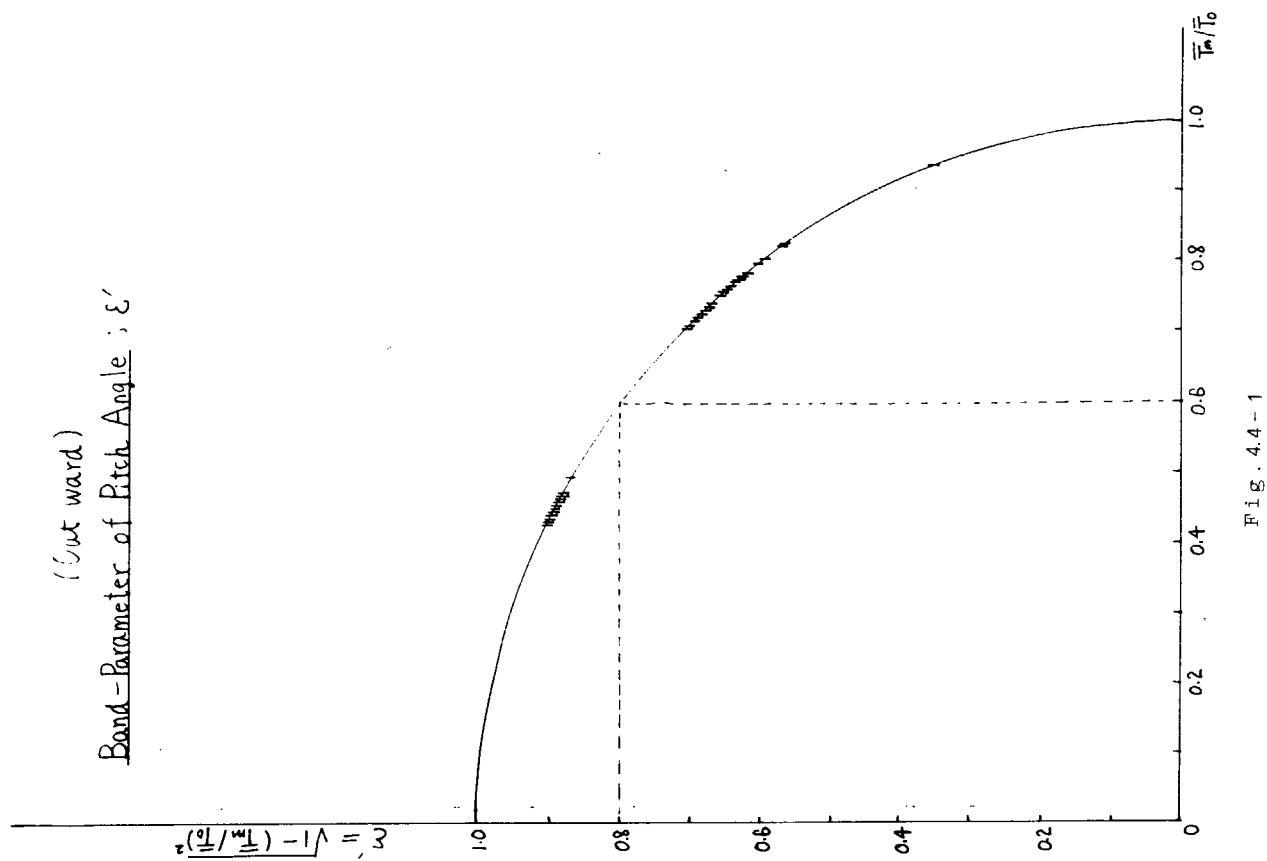


Fig. 4.4 - 1

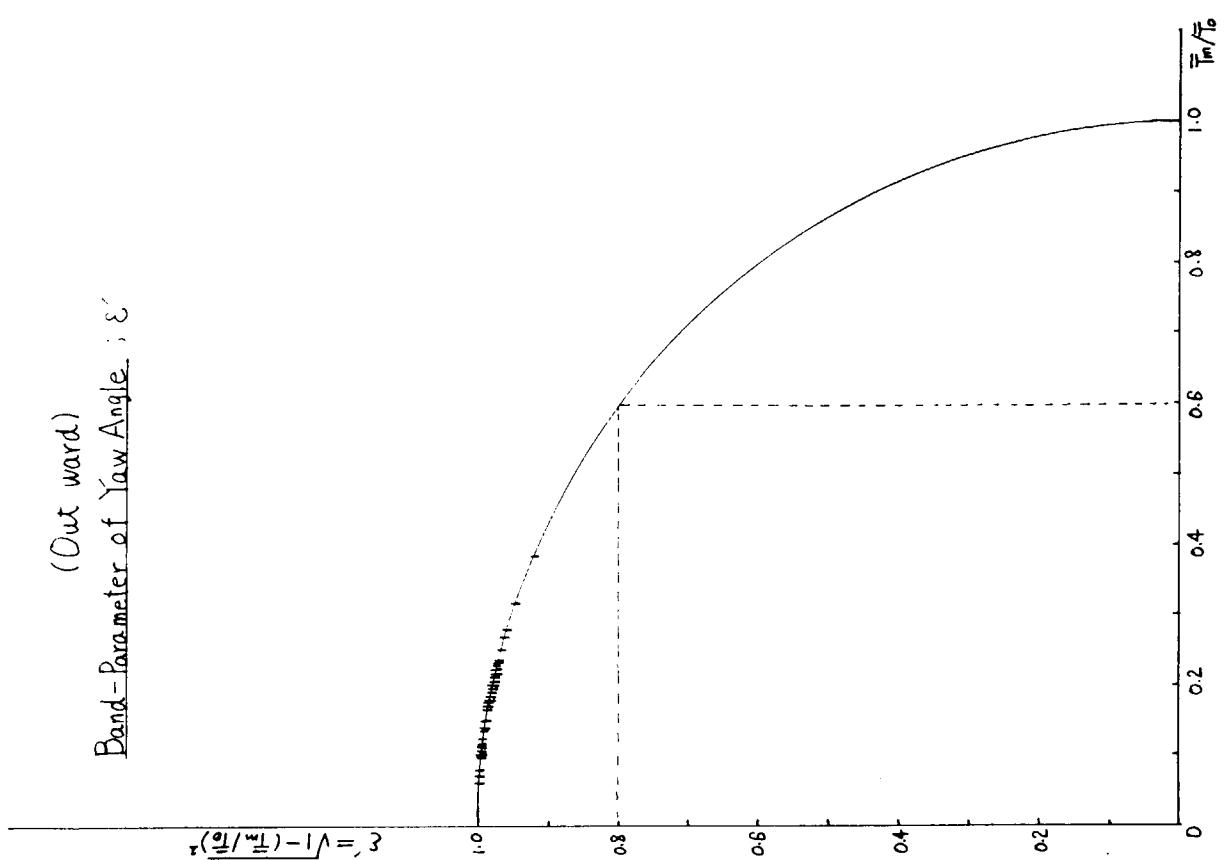


Fig. 4.4-3

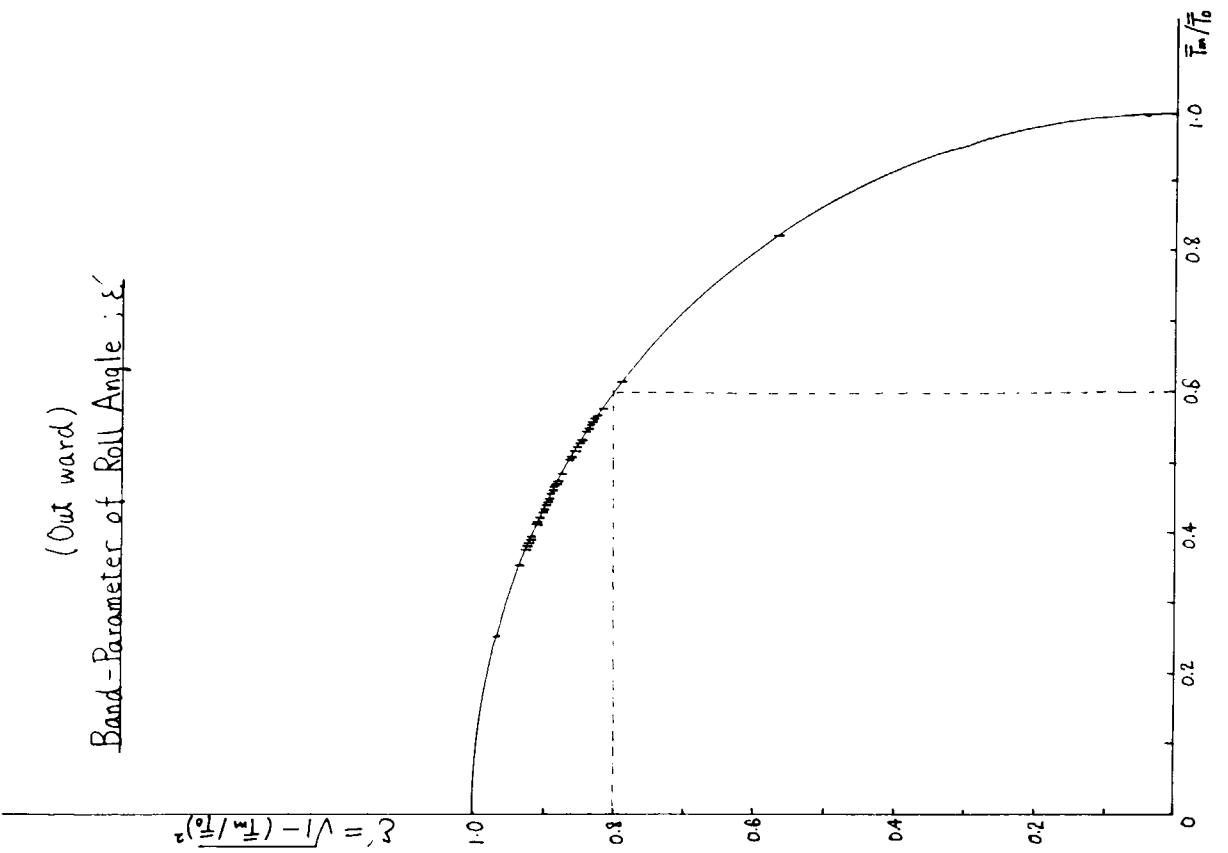


Fig. 4.4-2

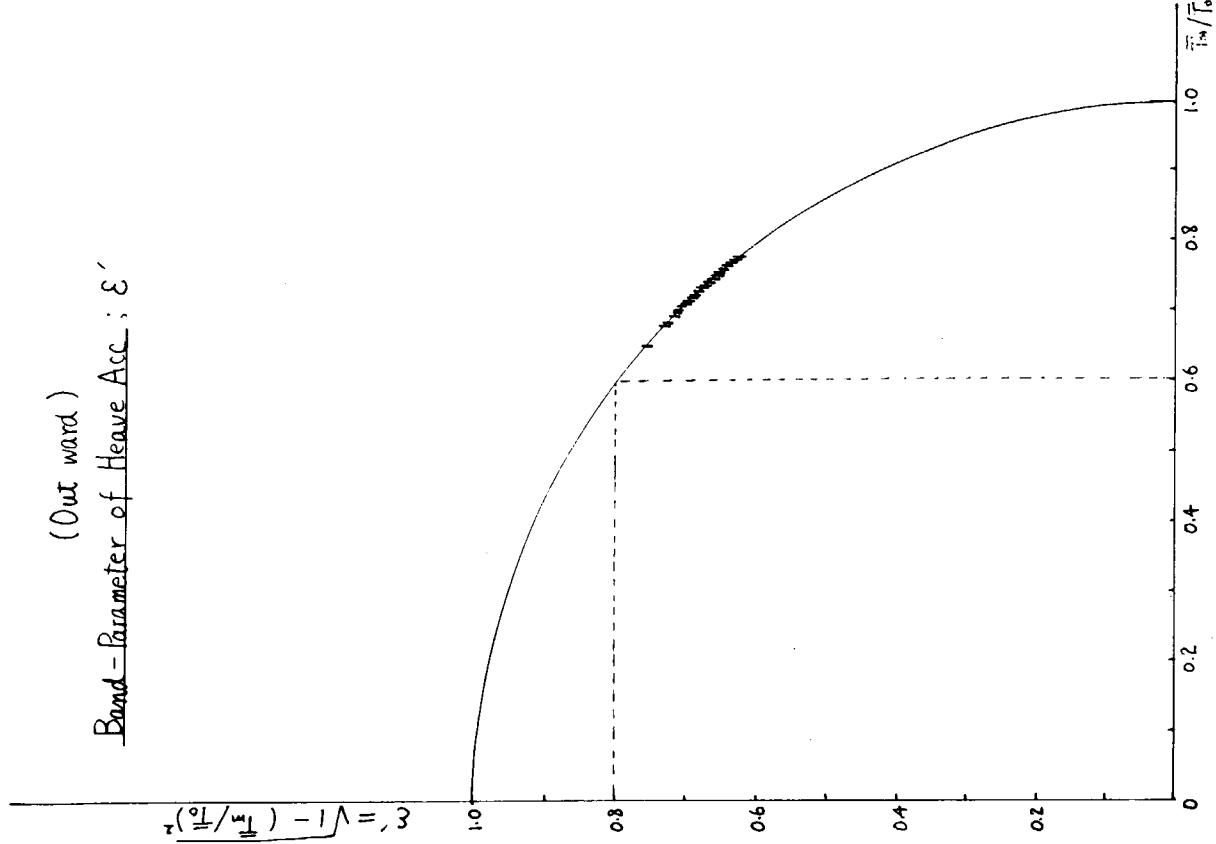


Fig. 4.4-5

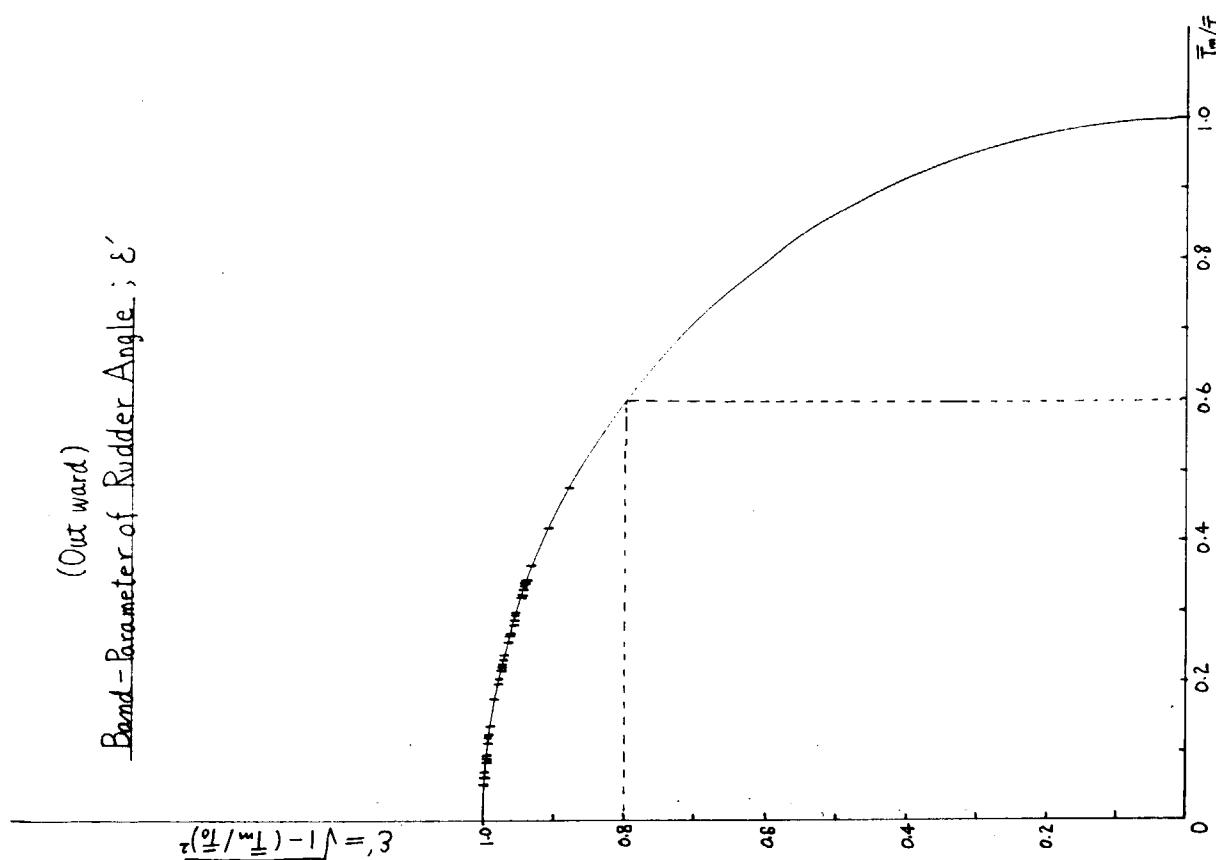


Fig. 4.4-4

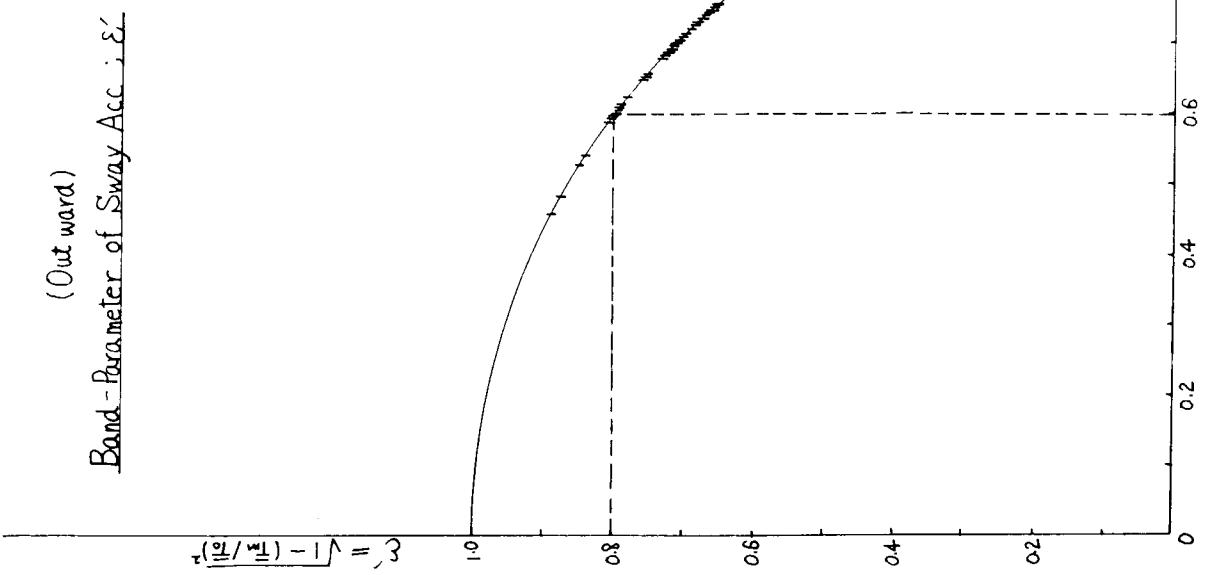


Fig. 4.4 - 6

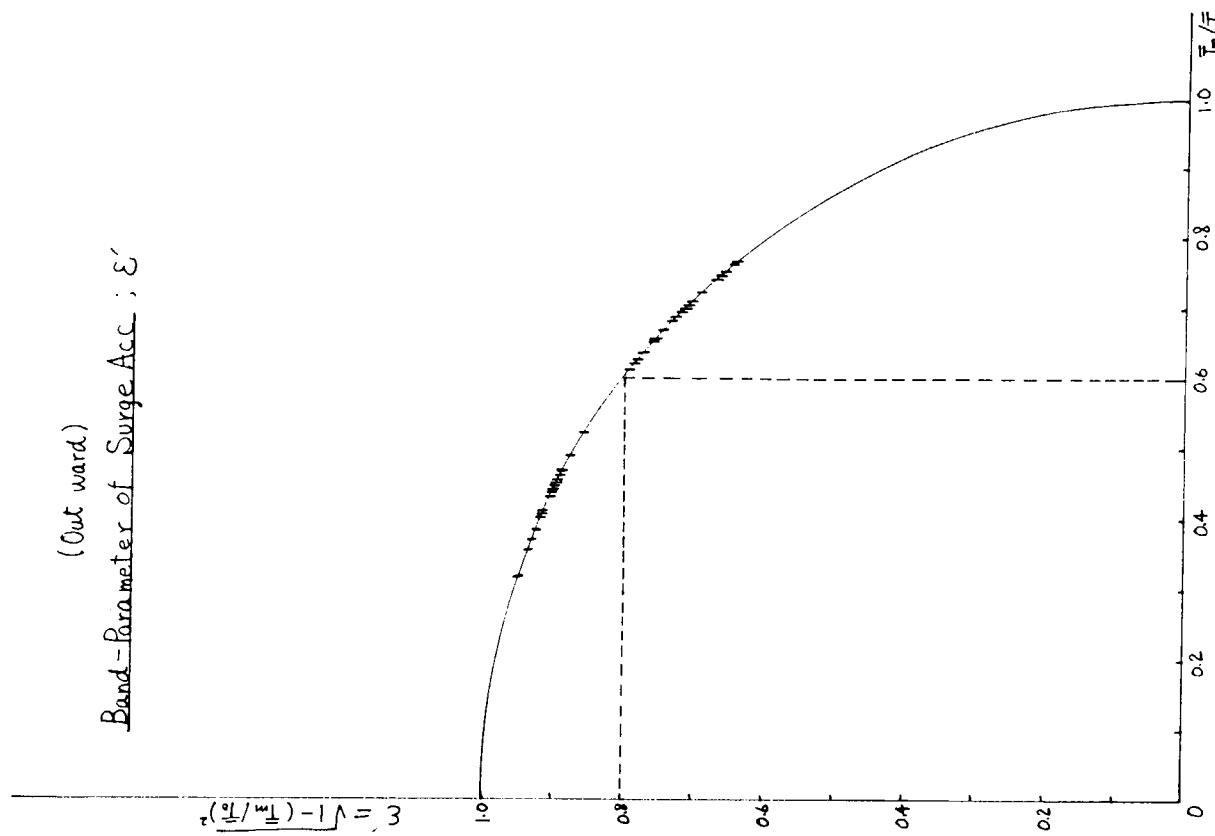


Fig. 4.4 - 7

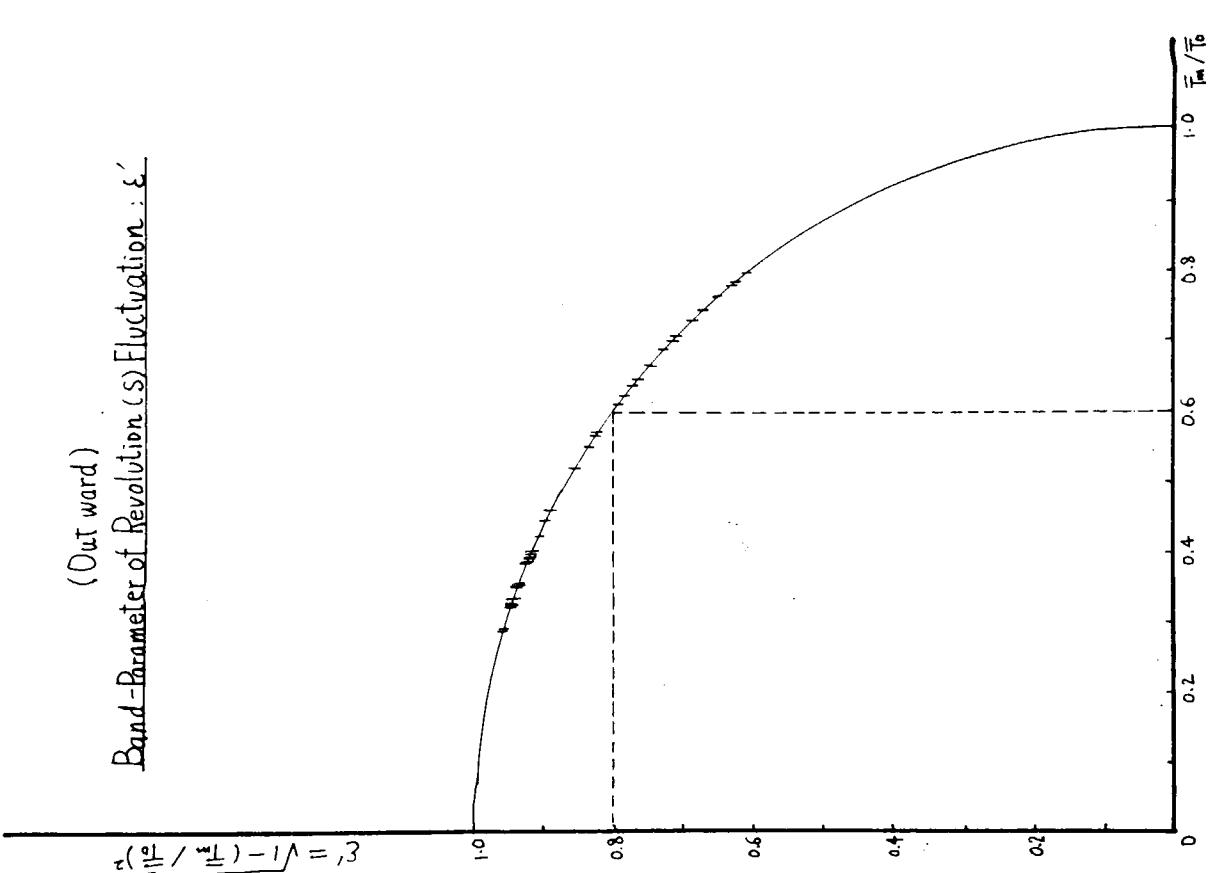


Fig. 4.4-9

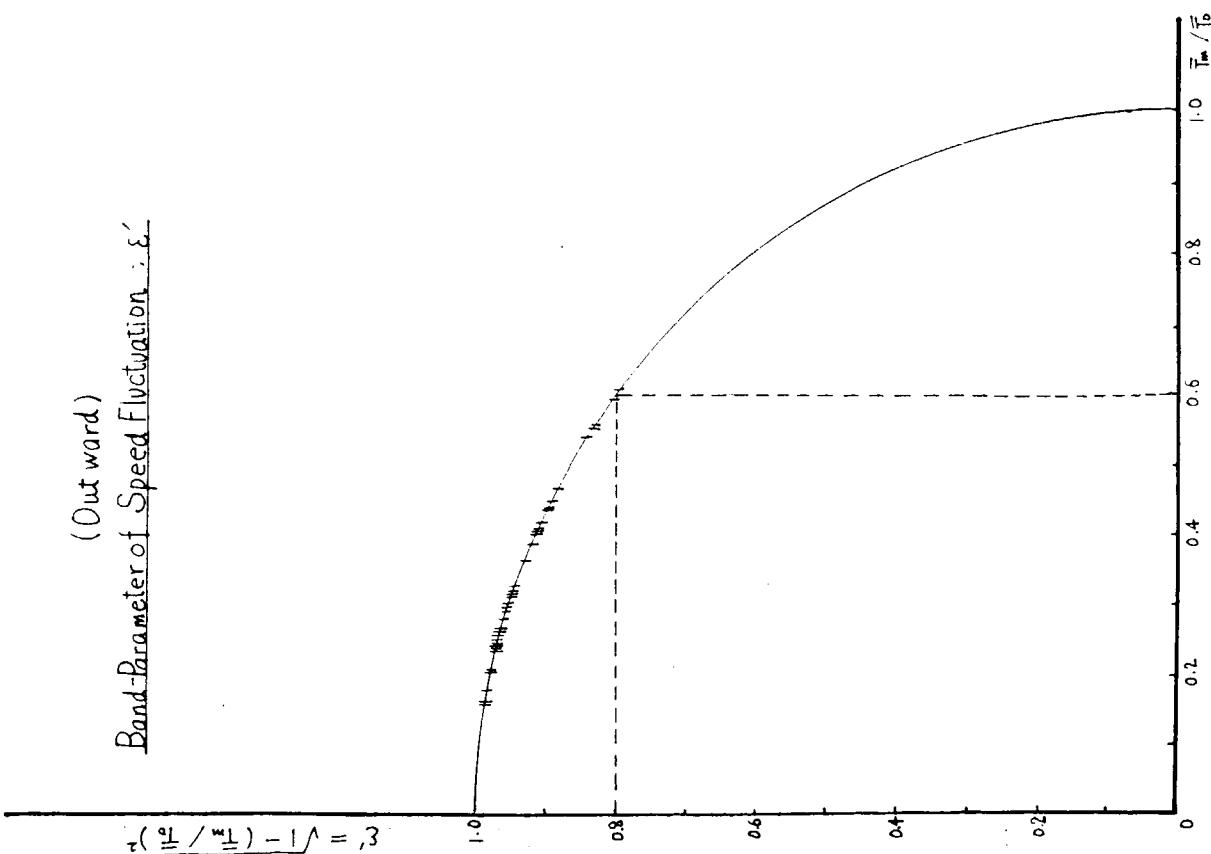


Fig. 4.4-8

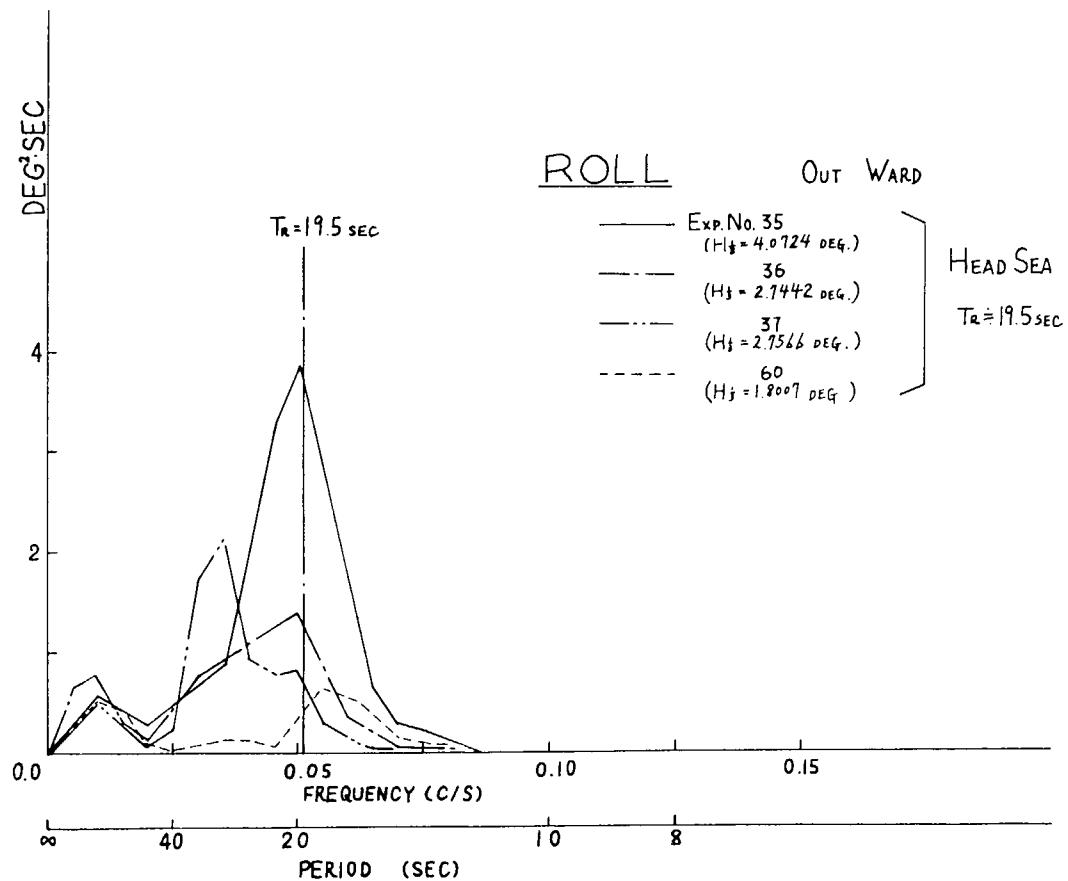
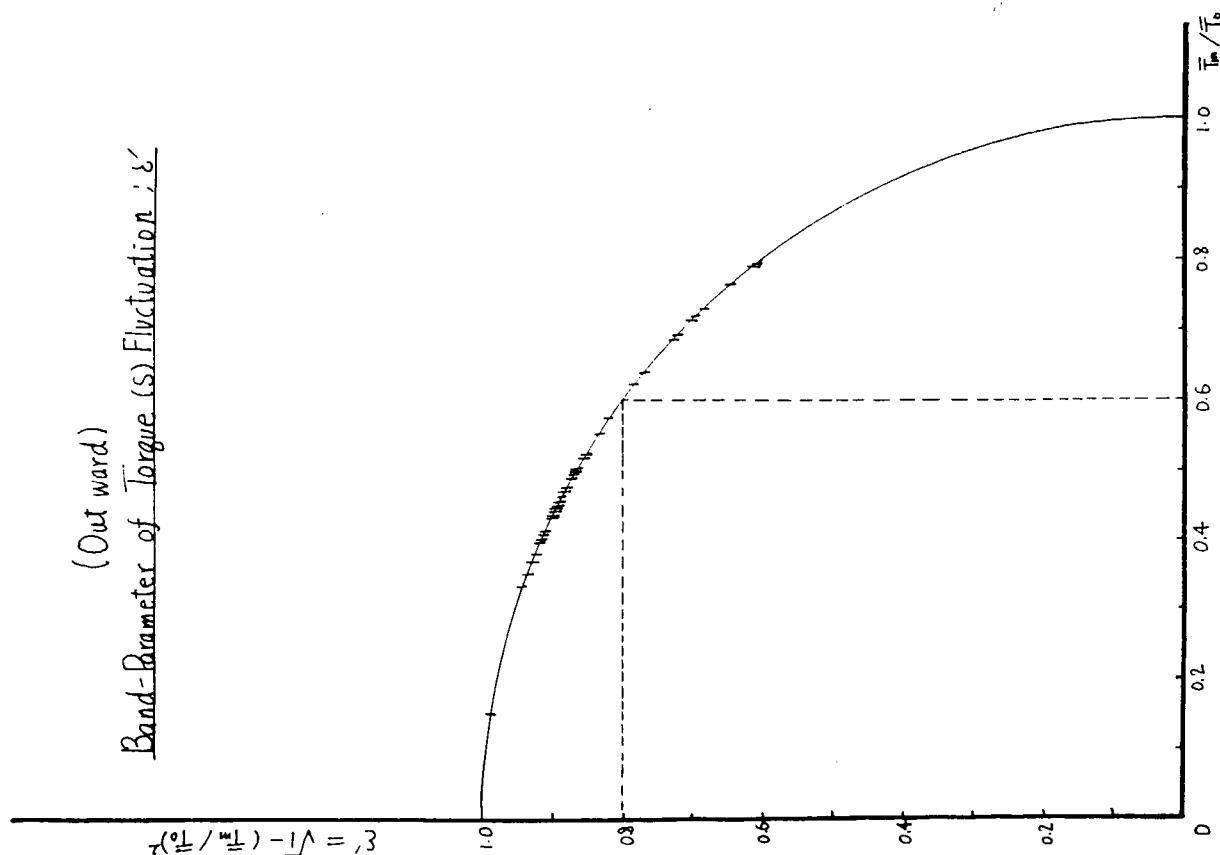


Fig. 4.5 - 1

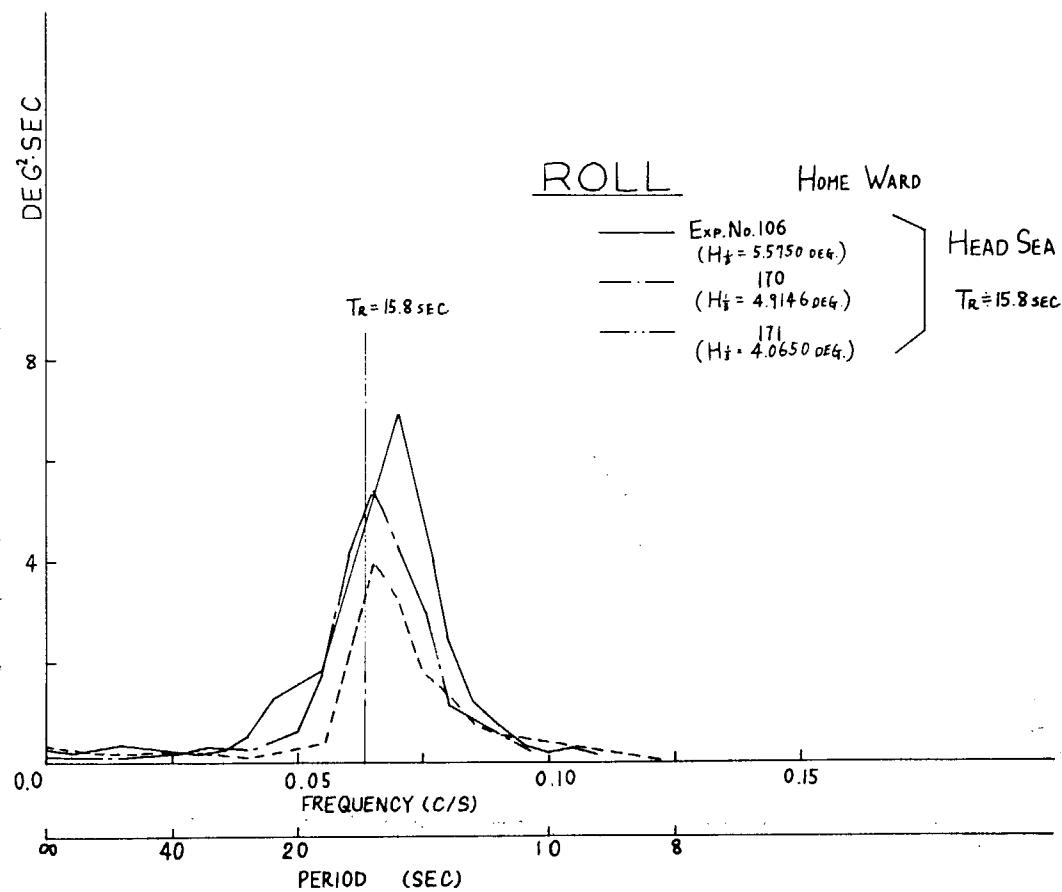


Fig. 4.5-2

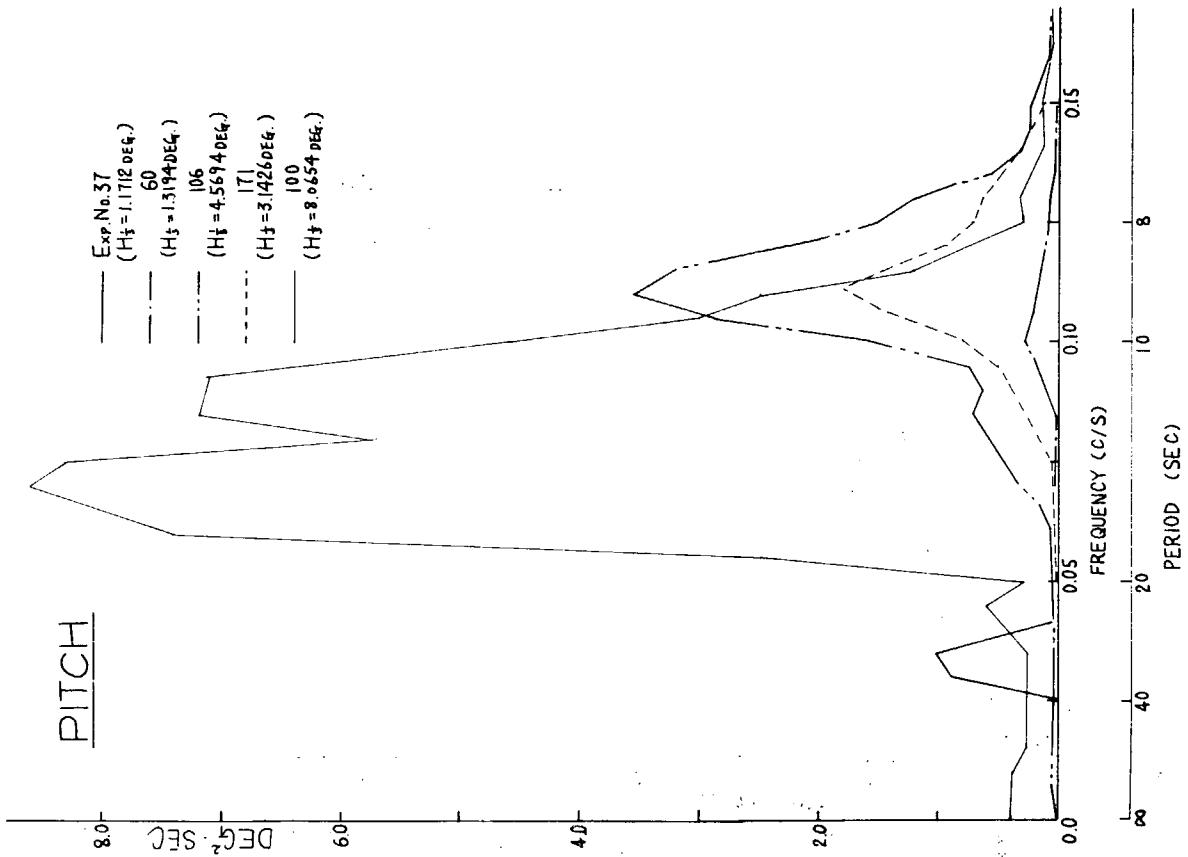


Fig. 4.6

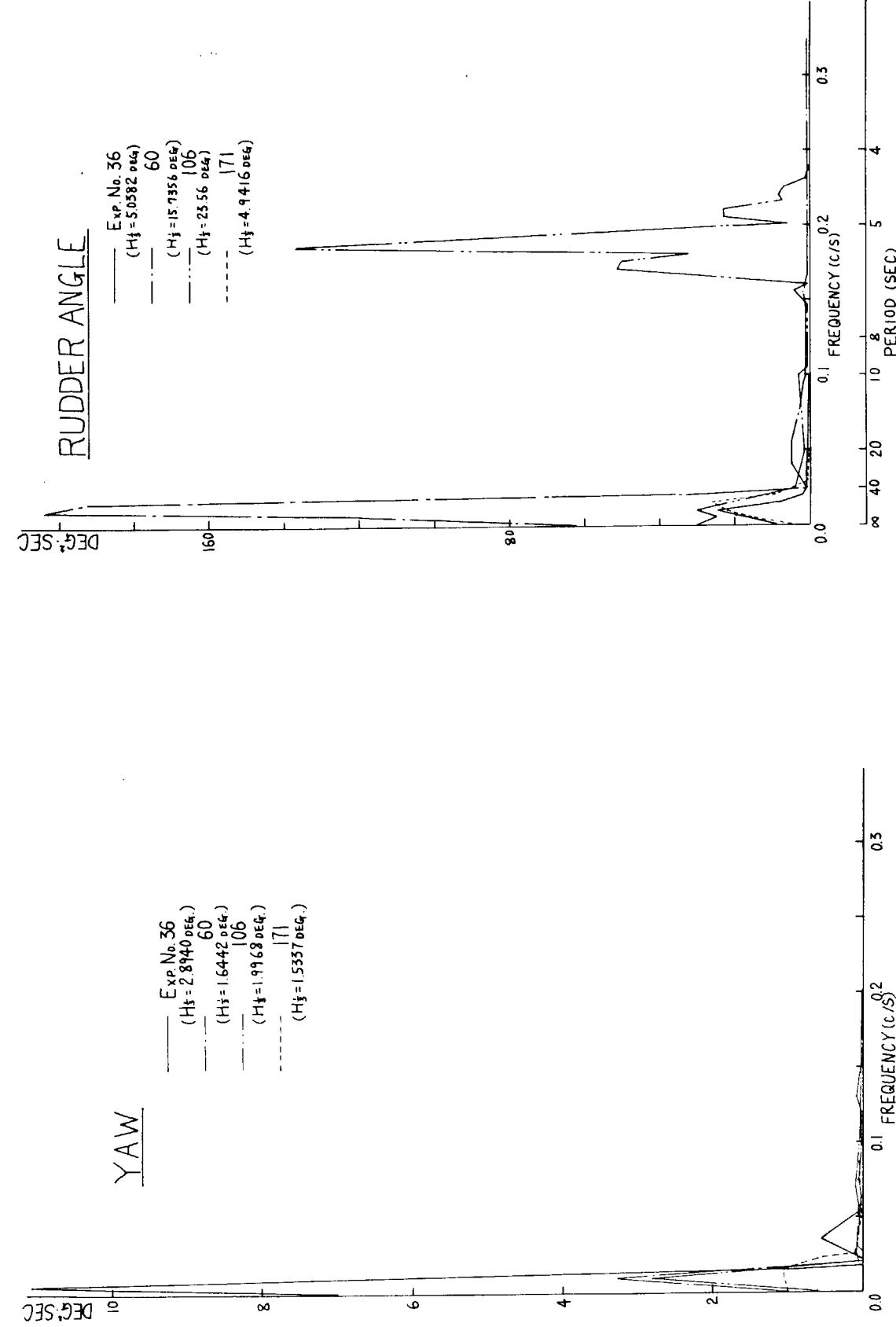


Fig. 4.8

Fig. 4.7

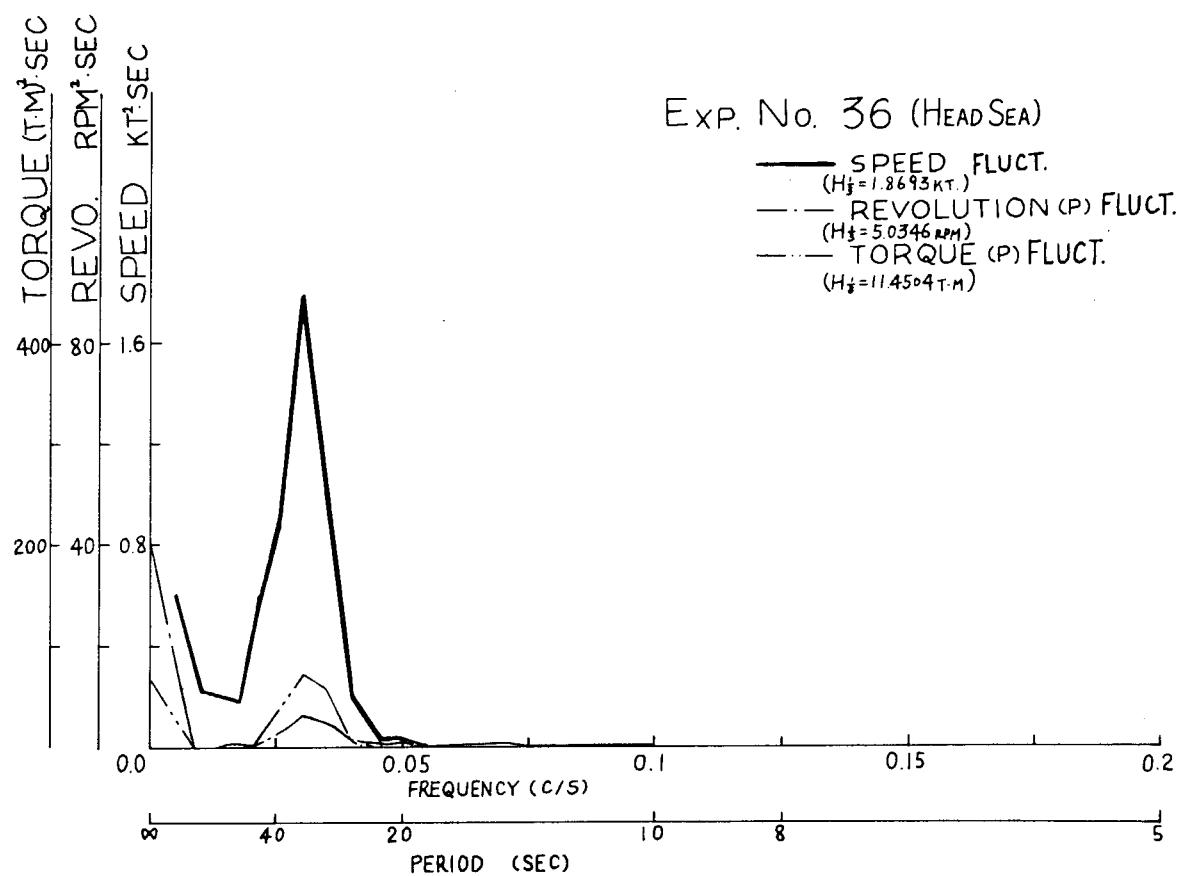


Fig. 4.9 - 1

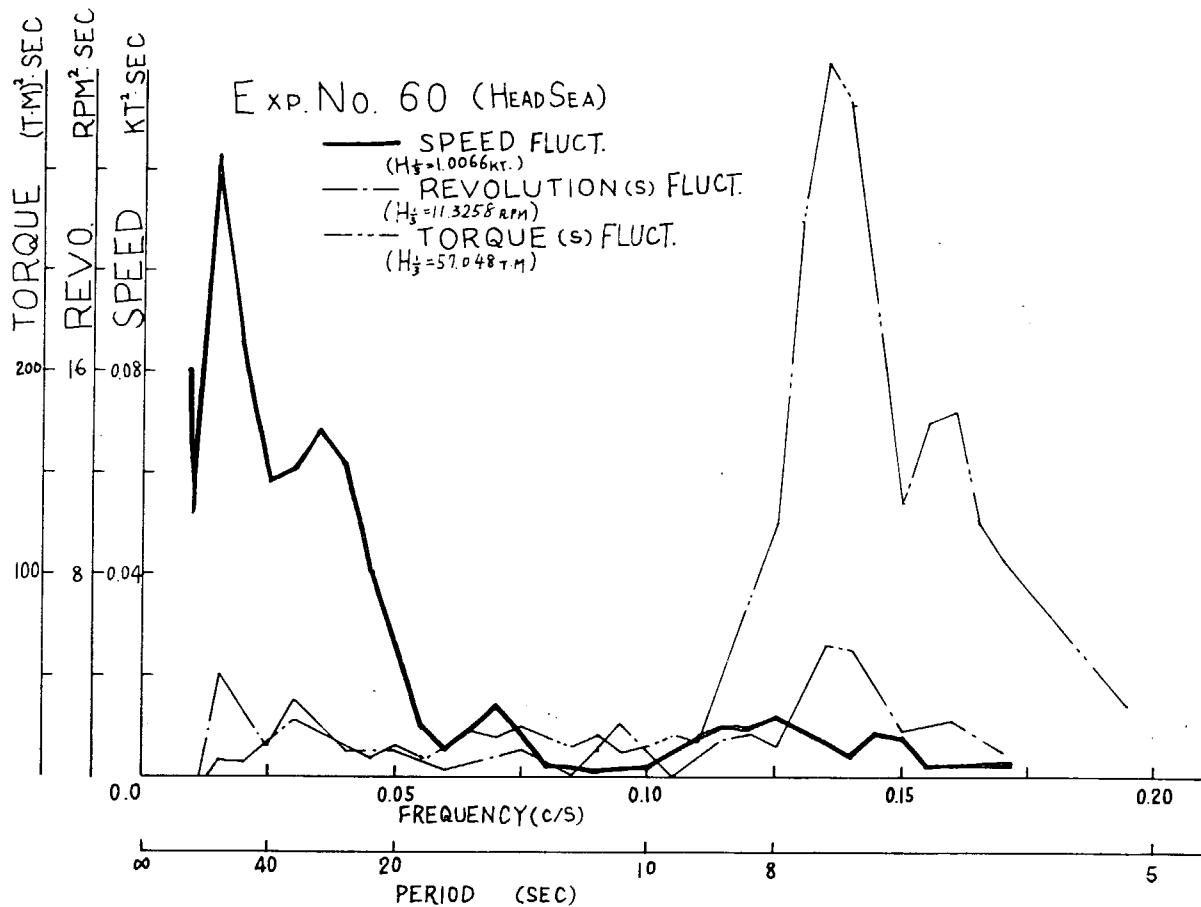


Fig. 4.9 - 2

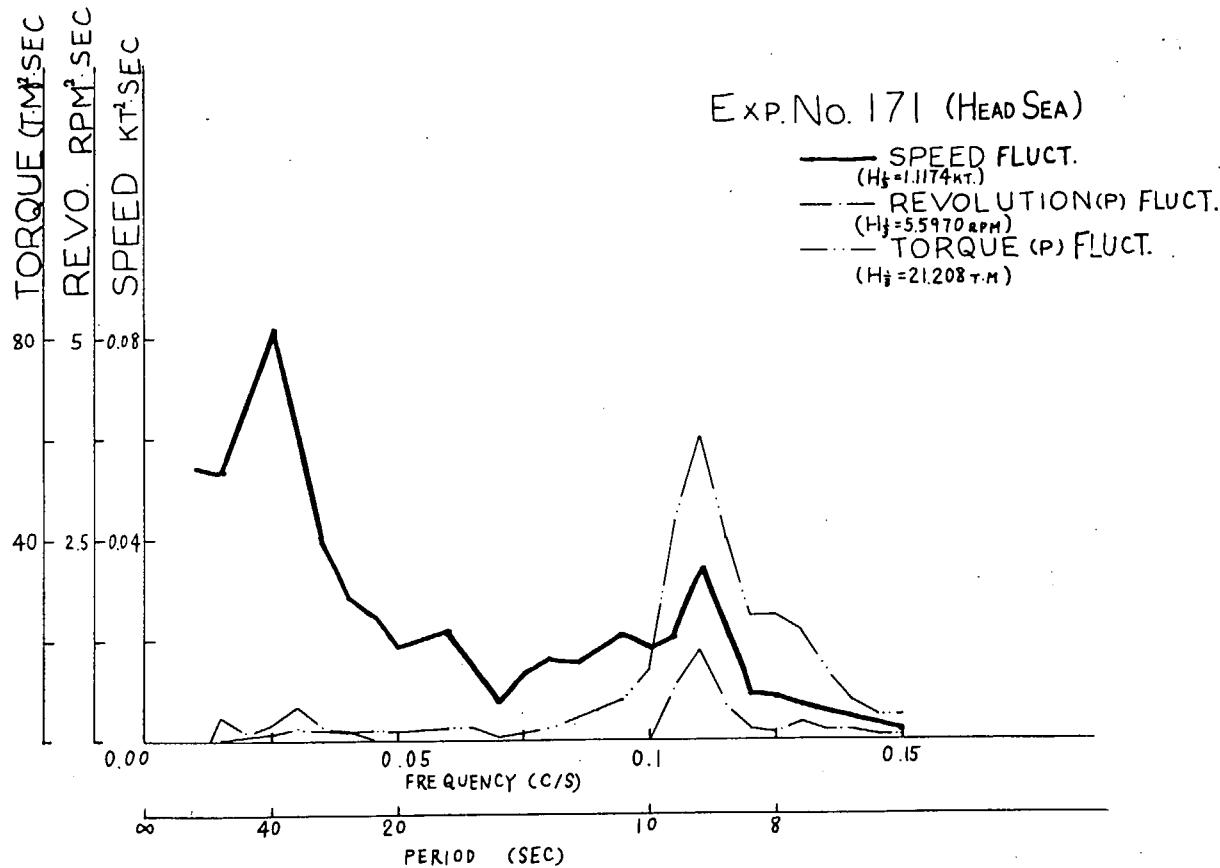


Fig. 4.9-3

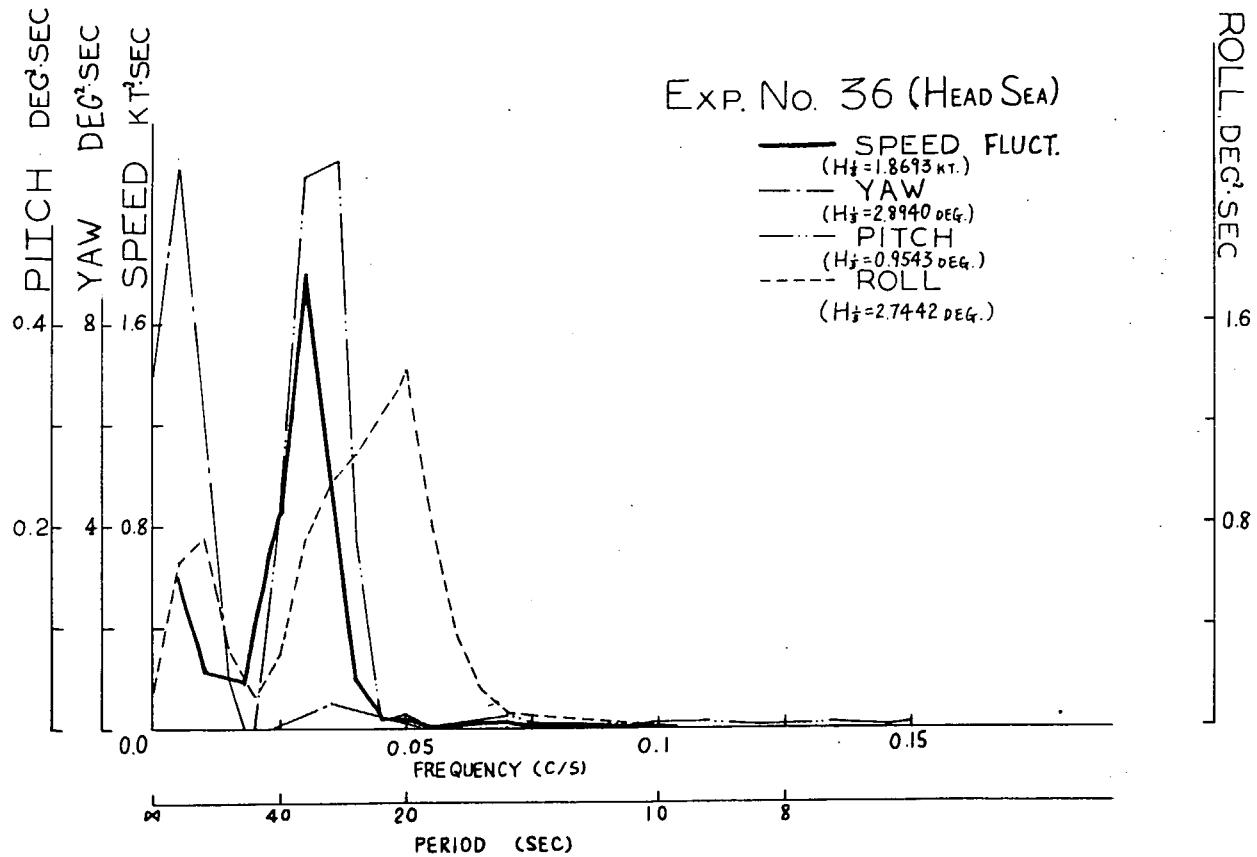


Fig. 4.10-1

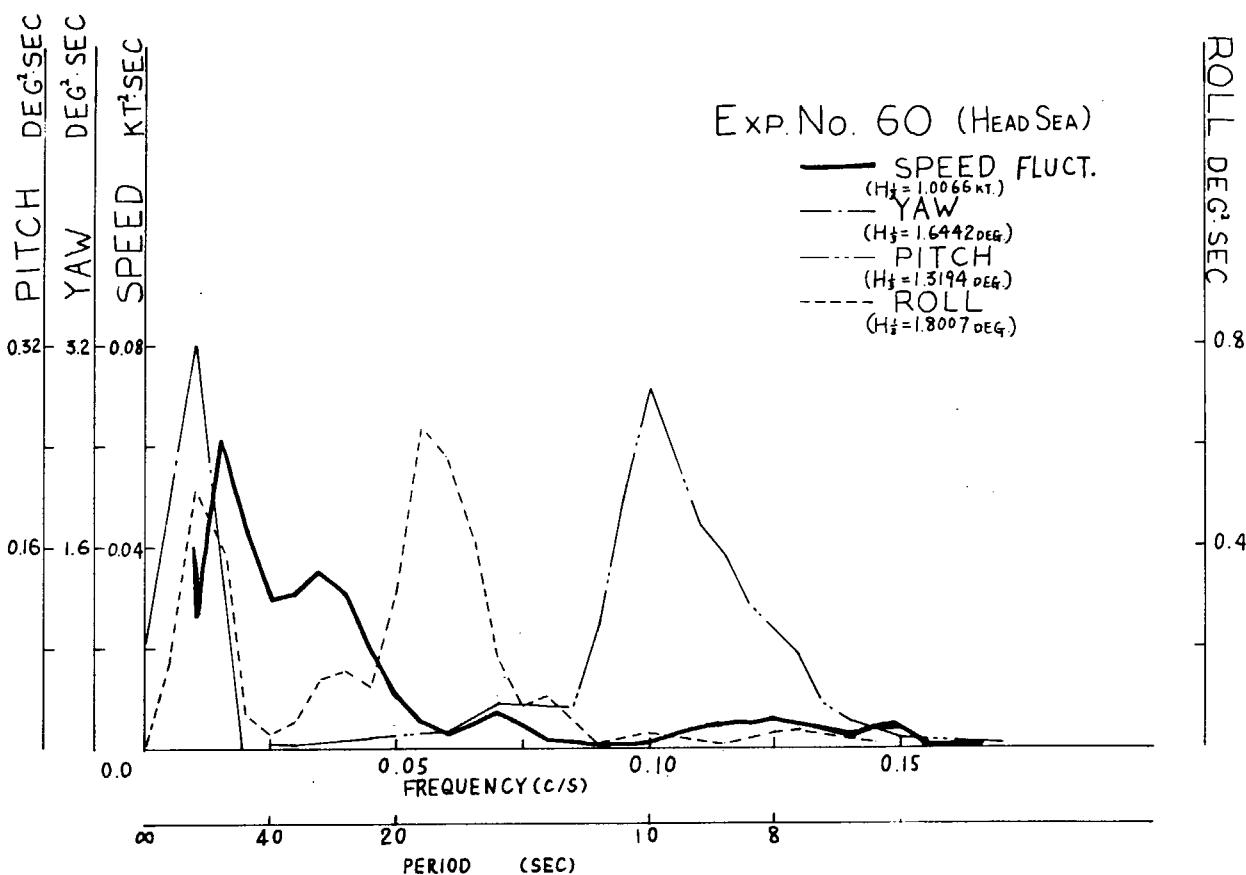


Fig. 4.10-2

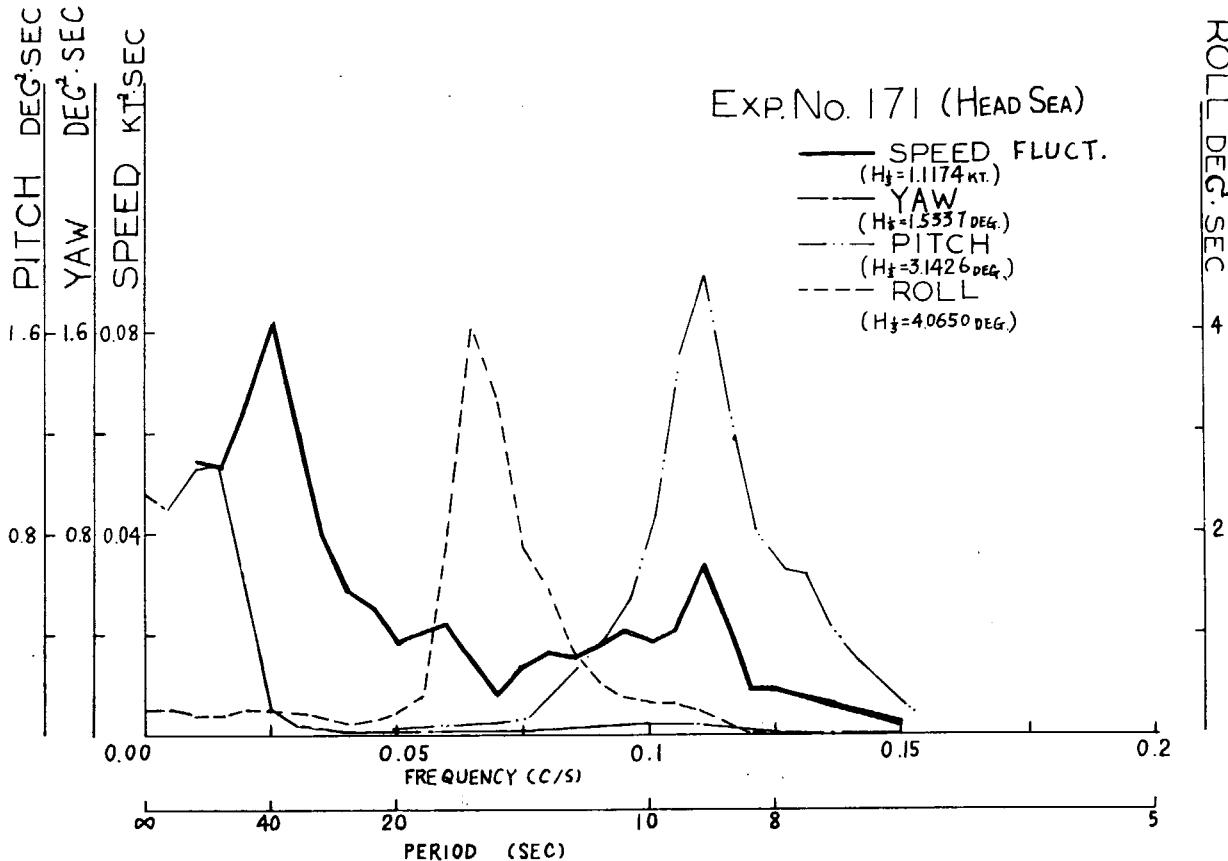
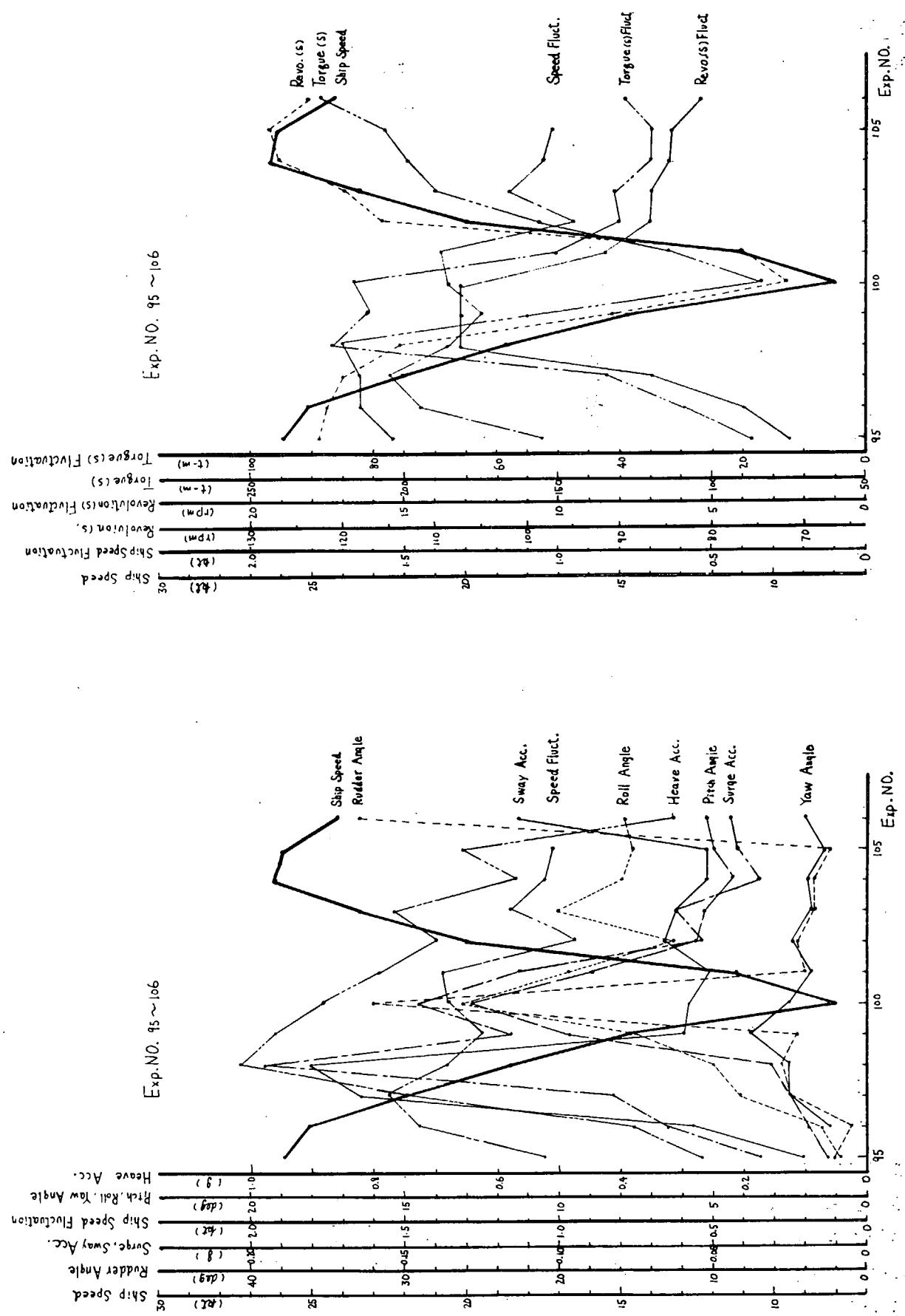


Fig. 4.10-3



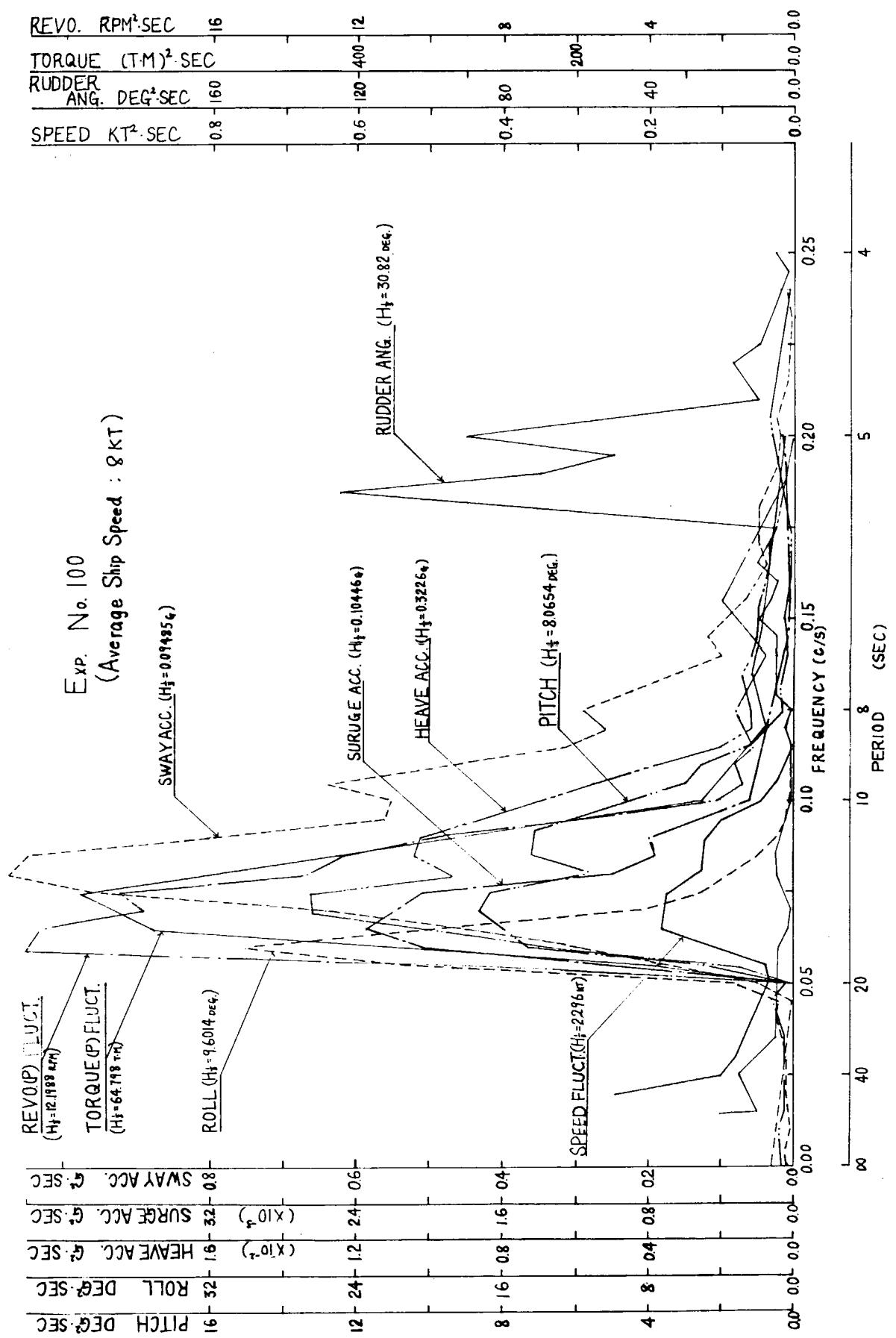


Fig. 4.1 2 - 1

REVO. RPM².SEC

TORQUE (T.M)².SEC

RUDDER ANG. DEG².SEC 160

SPEED KT².SEC 0.8

Exp. No. 106
(Average Ship Speed : 24.4 KT)

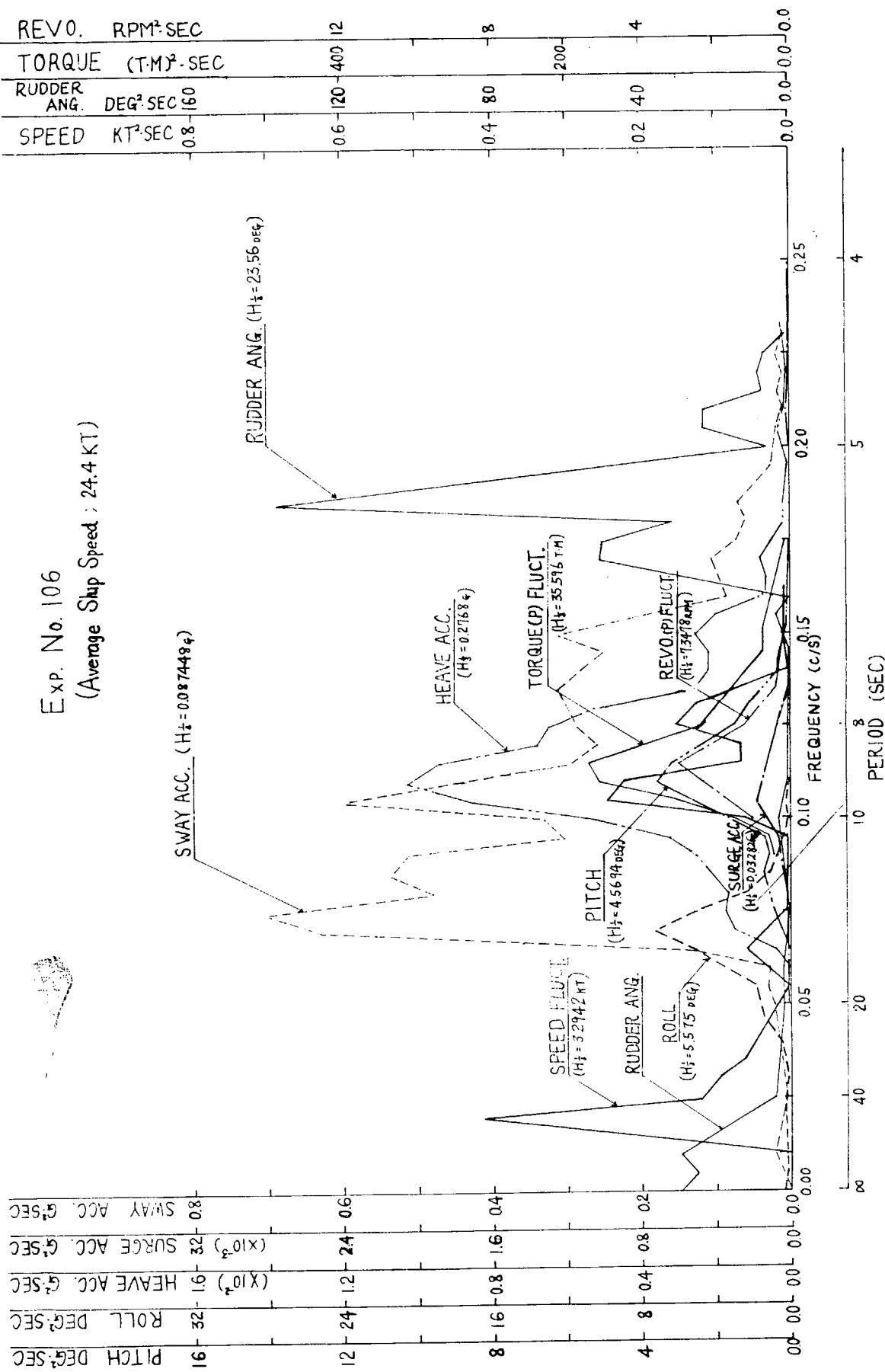


Fig. 4.12-2

Photo. 4-1

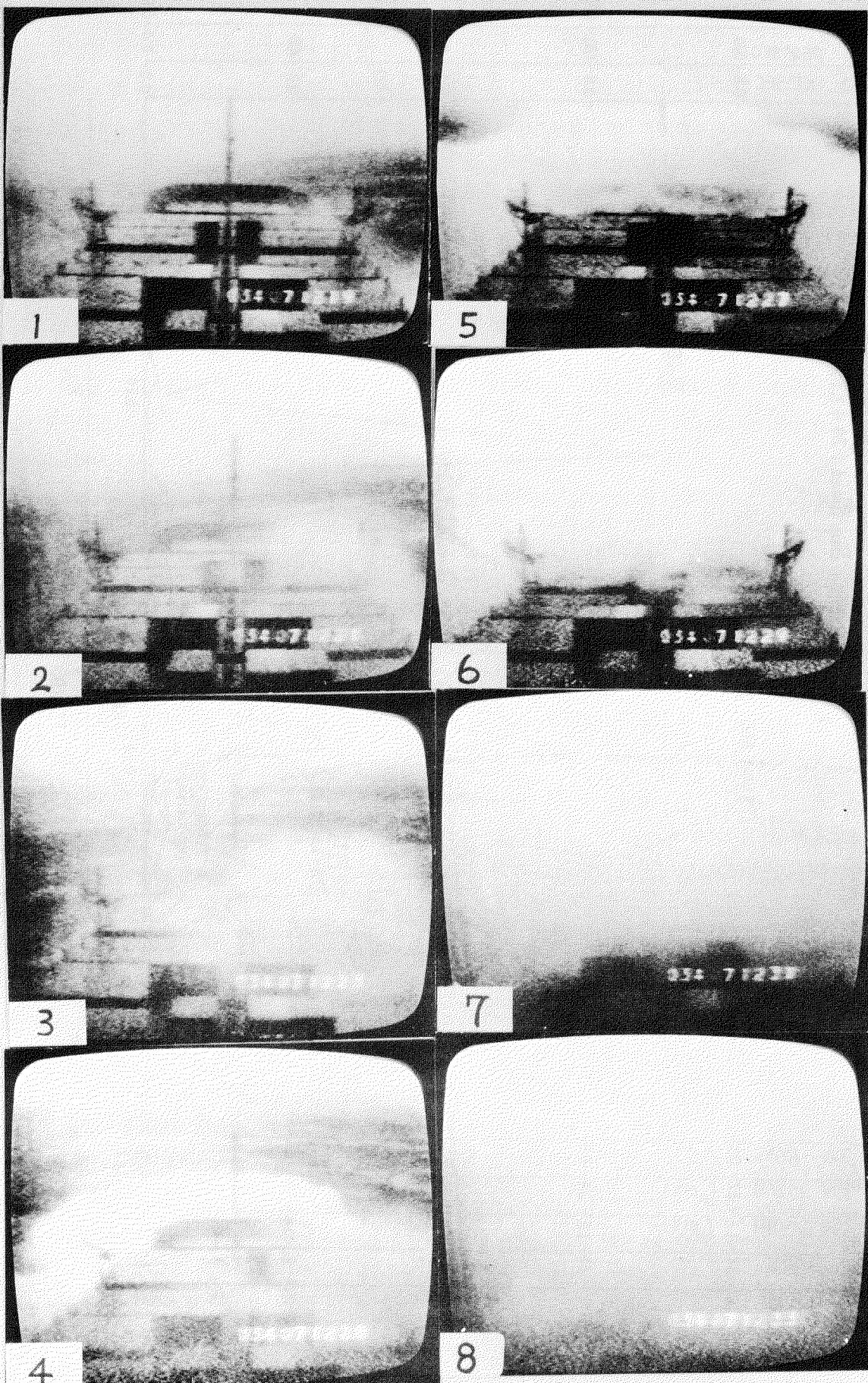
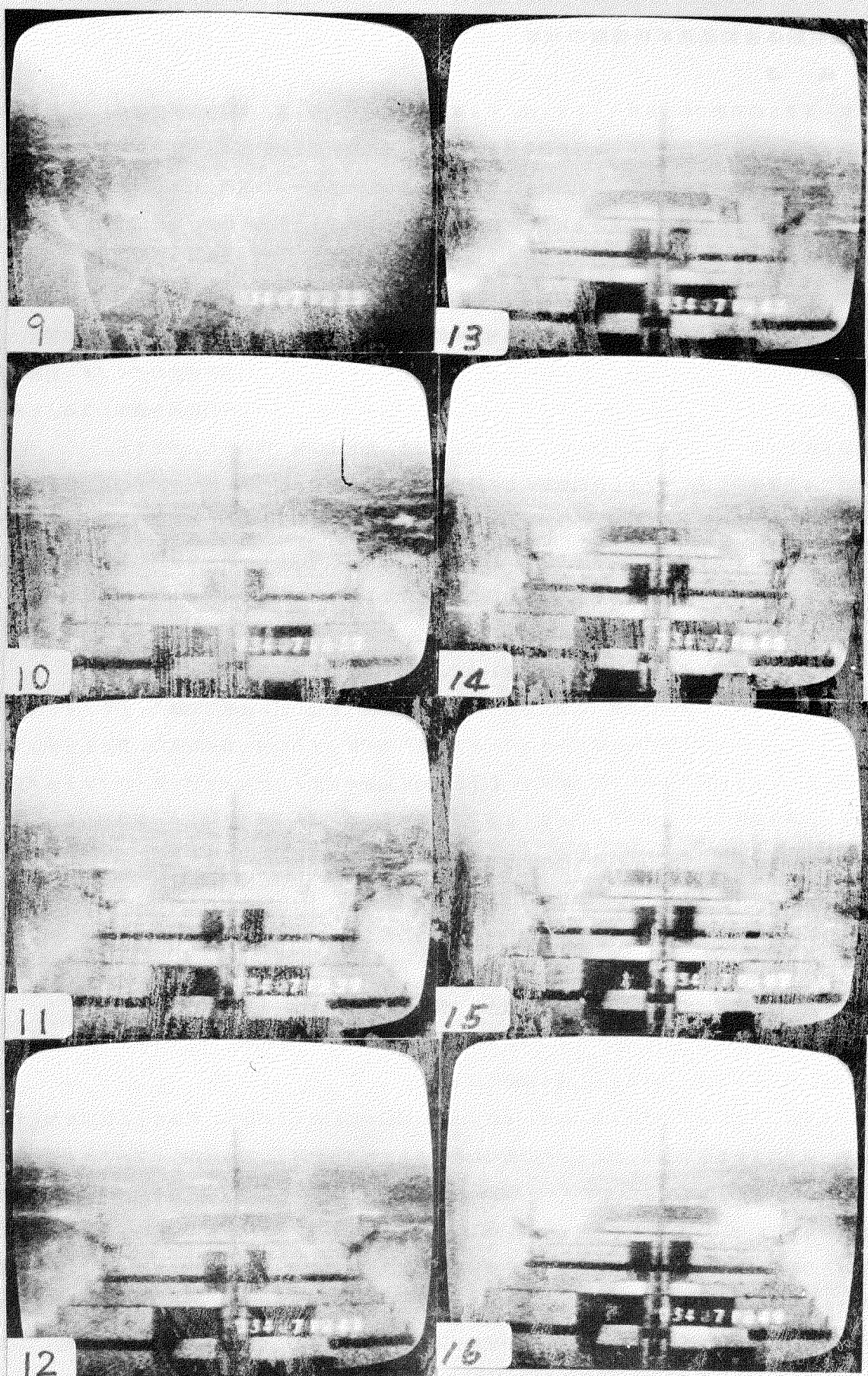


Photo. 4—2



5. 実 船 試 験

5.1 船載型船体運動高速解析装置の概要

5.1.1 経 緯

S R - 1 2 5 の前身である S R - 1 0 8 では、 P S W 航路のコンテナ船 6 隻、 9 往復航海に便乗し、冬季荒海航行中の船体運動等の長時間にわたる実測記録を得ることができた。その解析結果は昭和 4 6 年度 S R - 1 2 5 報告として研究資料 No. 1 5 7 に掲載されている。この解析には実船試験に参加した各チームの所属会社あるいは、大学、研究機関の電子計算機が使用されたが、プログラミング、データ処理（ A - D 変換）、計算、および算出値の図化に要した工数および計算機使用時間は各チームのそれを累計すると莫大なものになつた。

一方、そのころミニコンピュータを組み込んだ専用解析装置の開発がさかんになり、各社のカタログにもデジタルスペクトル解析器とか、リアルタイム波形解析装置とか称する装置が見られるようになつた。これらの装置は、本委員会の実船試験関係で行なつてある第一次の解析（不規則現象のスペクトラムおよび確率密度のデジタル計算）を実時間で処理可能ということになつてある。すなわち計測している現場で見ているうちに算出値を表示しうる。したがつて、算出値（たとえばスペクトルの型）がどのように変化しつつあるかをその場で確認ができる。

そこで本委員会の要求にマッチした船載型のこの種の装置が製作可能ならば、実船試験中にその算出値を知ることができ、計測員がその結果を見て操船上の指針を乗組員へ示し得るのではないかと考え、本装置の開発および購入を計画したわけである。もちろん本装置は陸上で汎用高速解析装置として使用可能とし、莫大な解析計算費の節約をも目標にした。このようなことから本装置に対する要求事項は次のようなものとなつた。

- (1) 船載型；すなわち小型、軽量でありかつ耐振性、耐湿性、耐塩性に豊むこと。また操作簡便なること。
- (2) 可搬型の計測装置；すなわち供試船が変化するので、移動および設置が容易であること。
- (3) 高速処理；実船の船体運動は遅い現象であるので、実時間処理は普通の計算速度で問題なく行なえるので、特に要はないが、陸上での再解析時にはデータレコーダを高速再生で使用するので、普通程度の計算速度を確保する。
- (4) 図化表示；大型蓄積形ブラウン管上に文字、数字を含めて現象のディメンジョンでグラフィックディスプレーされること。具体的にはテクトロニクス、 4 0 1 0 型グラフィック・コンピュータ・ターミナルを使用のこと。
- (5) コピー機能；グラフィックディスプレーされた図およびその数表が必要に応じてすみやかにコピー可能ること。具体的にはテクトロニクス、 4 6 1 0 型ハードコピー・ユニットを使用のこと。
- (6) 同時解析現象数； 2 現象とする。したがつて、クロススペクトラム、あるいは伝達関数など 2 現象間の相互関係を示す計算が可能なこと。
- (7) 汎用性；陸上においては汎用の信号解析装置として使用できる十分な性能をもつこと。

なお、本委員会で使用しているデータレコーダ ANALOG - 7 の時間圧縮機能と対応するサンプリングレンジをもつこと。汎用ミニコン・システムとしても稼動可能なこと。

- (8) メモリ数； 8 K ワードで計画する。ただし 4 K ワードの増設が可能なように筐体、電源などに配慮を加えておく。
- 大約、以上のような要望事項を設定し、その当時の各社のカタログと対照し、日本無線のリアルタイム信号解析システム（ J E F - 8 形）および TEAC のデータ処理システム（ D P - 5 0 0 0 ）が基本となるシステムとして適当であると判断されたので、両社に細部の検討を依頼した。両社とも本要求事項を満足する性能のものを予算額内で試作してみたいとの意向であつたが、日本無線が舶用電子機器に関し経験が深いこと、標準型のリアルタイム波形解析装置の製作実績がやや多いこと、納期が早いことなどの理由から本装置の製作を日本無線に発注した。なお、本装置は前述(4)の文字を含めた図化表示および(5)のハードコピーが従来の装置にない特色となつてゐるが、(5)は細部仕様検討の段階で TEAC が提案したものであることを附記して謝意を表しておく。また、本装置は費目の関係から完成品の購入の型を取つてゐるが、内容的には新しく開発した部分が多く、細部においては多数の新規軸がみられる。このような企画に積

極的に参加いただき試作品の域を脱した装置を完成した日本無線の関係各位および多額の御援助をたまわつた船舶振興会に深甚なる謝意を表しておきたい。

本装置には詳細な取扱い説明書（計測コンテナ取扱い説明書集に添附する）が用意されているので、細部にわたる仕様、操作法についてはそれを参照してもらうことにして、以下に概要を紹介しておく。

5.1.2 外観、設置場所

本装置は日本無線のリアルタイム信号解析システム J E F - 8 A J 型を原型として開発されたもので、J E F - 8 B J 型と称することになつたが、8 A J とは外観、機能ともに大幅に異なつていて、特に本装置は本委員会の要求により結果の表示機能が飛躍的に改善されているので、実質的には別の型の新解析システムになつてしまつていて、

外観は、Photo. 5.1.1 に示すように、3 個の筐体およびテレタイプより成り立つていて、船載するのは 3 個の筐体のみである。船載するため各筐体の脚の調節高さを特に大切にとつてあり、積み込み時の用にたてるため、アイボルトが附されており、また前面には蓋がついている。積み込み後、3 個の筐体は連結できるよう配慮されており、高さも約 1.2 m に揃えており、立作業でこの筐体ごとに前が見えるよう配慮されている。本装置の設置場所は計測コンテナ用リモート・コントロール装置と同様にホイール・ハウス内あるいは船橋内の計測室を考えているので、外形などを計測コンテナ用リモート・コントロール装置に合せた。

本装置は計測コンテナシステムの一部に組み入れられるものである。船載時における計測コンテナシステム中での役割を Fig. 5.1.1 に示した。すなわち、ホイールハウス内に設置できた場合には、現時点での加速度、応力、船体運動などの平均値、最高値あるいはスペクトラムの型などを時々刻々にホイールハウス内で知ることができ、これらは操船上の貴重な指針となろう。また、その解析結果を次々とコピーして保存しておくこともできるわけである。

本装置で同時解析可能なのは 2 チャンネルであるので、標準としては、データレコーダに記録された現象の同時再生出力を実時間解析に使用する。すなわち船上で解析しなかつたチャネルは実験後陸上で本装置を使用してデータレコードを高速再生にしてきわめて短時間（最短の場合実時間の $1/32$ の時間）のうちに解析してしまう。

Photo. 5.1.1 で一番左の筐体はミニ・コンの筐体で、現在のメモリは 8 Kワードであるが 4 Kワードの増設スペースをとつてある。左から 2 番目の筐体は上から順にグラフィックディスプレーのハードコピーユニット、コントロールパネル、プログラム読み込み用テープリーダーとなつていて、3 番目の筐体はグラフィックディスプレーで対話用のキーボードを持っている。以上の 3 筐体は船用無線機と同等の耐震試験、温度試験を行なつていて、

右端のテレタイプはデータの入出力にも使用可能であるが、主として標準プログラムの作成に使用するもので、通常は船載しない。

5.1.3 計算内容

本装置のブロック図を Fig. 5.1.2 に示した。①、②、③ とあるのは前述の左から 1 番、2 番、3 番目の筐体に収納されていることを示す。入力チャネル数は 2 であるので、2 個の A-D コンバータ（2 進 10 ビット、DC～50 kHz、サンプリングタイム： $10 \mu s$ ～10 sec および外部、入力レベル：100 mV～200 Vpp、入力オフセット：フルスケールの 50 % 以上可能）を持つていて、この A-D コンバータは上記の性能を持つので、相当に低レベルの信号でも、また相当高速な現象でも処理可能なわち汎用性があることが判かる。

本装置の現時点での基本的な計算内容は、

1. 現象時系列の作成（較正係数の乗算、デイメンジョン附加、平均レベルの算出および除去）
2. オートコリレーション
3. クロスコリレーション
4. オートパワースペクトラム
5. クロスパワースペクトラム
6. 周波数伝達関数

7. 極値(全振幅)の確率密度分布
8. 有義値等の算出
9. ゼロ・クロス平均周期の算出
10. ピーク・ピークの平均周期の算出
11. 周波数軸上での平均処理
12. 積 分

となつているが、さらにこれらの各種の組み合せ計算が可能である。従つて、多数の組み合せプログラムが考えられ、さらに1つの計算法に対して多数の図化度が組み合さるので、総合的には無数とも言える解析図化法が可能になる。そこで、実船試験時には10種程度の標準プログラムを紙テープの型で持つて行き、その範囲内で解析を行なつて来るとしてし、解析法、図化の統一をはかることにしている。

本装置での計算は有限高速フーリエ変換(DFFT)をベースにしているので、高速演算が可能である。本装置の最大入力データは、フーリエ変換、自己相関、コンボリューションで1024ワードであるが、それらの処理時間は、1.4 Sec、3.0 Sec、5.5 Secとなつており、また図化およびハードコピーに要する時間は約10 Sec以内であるので、たいていの計算がハードコピーまで含めて15 Sec以内で完了する。すなわち、実船試験時に使用する場合には現象が遅いので、ほぼリアルタイムで解析結果のグラフのハード・コピーまで得られることになる。

5.1.4 操作法

本装置の操作法は次の2つに分けることができる。

(1) グラフィックディスプレーとの対話による法

これは本装置の特色となつているところである。本装置ではほぼリアルタイムで計算結果をディスプレ上に文字入りのグラフとして表示することができるので、その結果を見て別の計算をさせようとか、計算内容はこれでよいから図示の方法を変えようとかをグラフィックディスプレーのキーボードおよびコントロールパネル上のスイッチを使用して直ちに簡単に変更してやることができる。これを対話法といつている。実船試験で使用する場合には、船上でこの対話法を行なつていろいろと楽しむことができるが、一方では解析結果を標準的な図にして蓄積しておく方があとの整理には便である。そこで今までにある実船試験のデータ(例えばK M丸のデータ)を使用して、陸上でいろいろな対話を試み、例えばピッキングに対してはオーツペクトラムと全振幅の極値分布を一枚の図上に表示することとし、スペクトラムと極値分布の占有面積の比率、図示スペクトラムの周波数範囲、極値分布の図示振幅範囲などの最適値を試行錯誤法によつて求めるこことしている。

(2) 紙テープによる法

(1)の対話によつて最適な解析図化法が求まつたとすると、このプログラムを紙テープ化しておく。すなわち、これを標準プログラムテープと称することにすると、これを紙テープリーダにかけるだけでプログラムがセットされる。実船試験時には標準解析図化法に対応する標準テープを10種程度用意しておくが、プログラムの変更は短い紙テープを一度通すだけであるから、極めて簡単かつ確実に行なえる。

(3) 陸上での操作法

船上で記録されたアナログテープを陸上で高速解析する場合には、ANALOG-7の变速比にマッチした時間圧縮機能を持つてゐるので便利である。標準テープを使用して行なう計算の陸上での操作法は船上の場合と全く同じである。

標準テープの作成は陸上でテレタイプを使用して行なう。また陸上ではテレタイプを使用して出力を印字させることができると、その速度は遅い。

なお、陸上ではこの装置は汎用ミニコンとしても使用可能であるが、その操作法は複雑である。

5.1.5 ハードコピーの例

ブラウン管上に表示された画面と全く同じコピーが約7秒/枚で得られる。このコピーはA-4版に切断されたドラ

イコピーであるので、その場でメモなどを記入してファイルできる。なお、左端に余白を取つてファイルに便なるよう配慮した。またこのコピーは白地に黒であり、紙が適當な透光性を持つてゐるので、そのままでも良質なりコピー用原紙になり得る。

Fig. 5.1.3は上から順にロール角、加速度のタイムヒストリー、およびロール角、加速度のオースペクトラムを図示させた例である。右端にはタイトルスペースが用意してあり、キーボードにより各種の説明を書き込むことができる。図の座標軸には現象のディメンジョンを現わす数字、文字が記入される。本装置は基本的には2チャンネルであるので、このように2チャンネルを同時に書き込み得る。

Fig. 5.1.4はピッチ角のタイムヒストリー、全振幅分布、オースペクトラムを同時に図示した例で、このような場合を標準プログラムの一つに入れたいと考えている。全振幅分布の中には全振幅の平均値、有義値、平均周期などが別に文字で記入されている。このように異なる計算法による結果を同時に図示することができる。

Fig. 5.1.5にはオースペクトラムだけの場合を示した。これはほづ例(2)に応する場合のスペクトラムを、周波数軸を拡大し、また必要な周波数範囲のみを図示させた例である。実際の使用法としても、縦横軸の数値を定量的に読み取る場合には、このように必要な部分を拡大して読むことになる。

さらに具体的に数値が欲しい場合には、Fig. 5.1.6に示したように、この図に応する数表が図と同様にドライ・コピーで直ちに得られる。

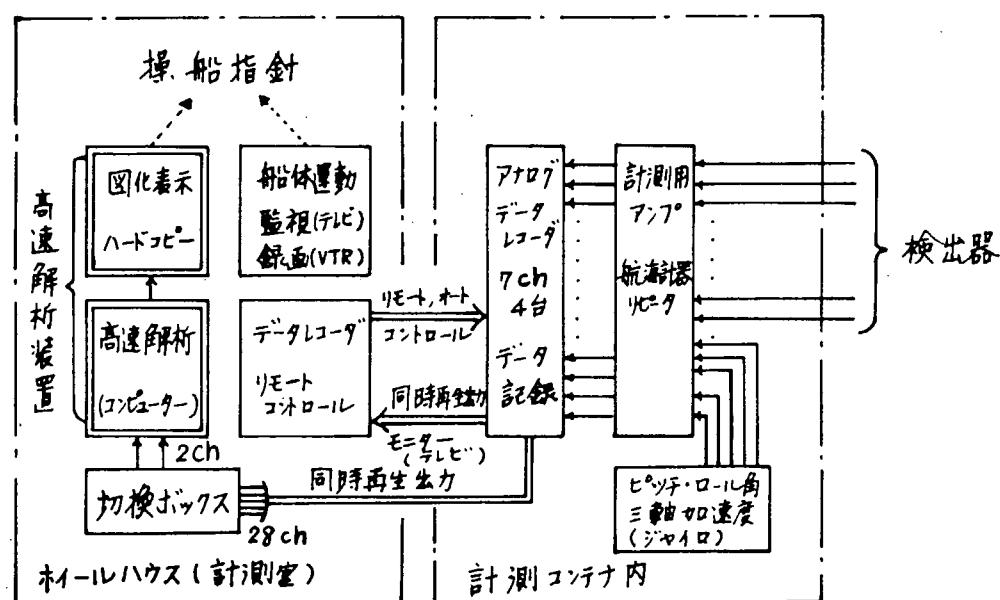


Fig. 5.1.1 計測コンテナシステムでの高速解析装置の役割

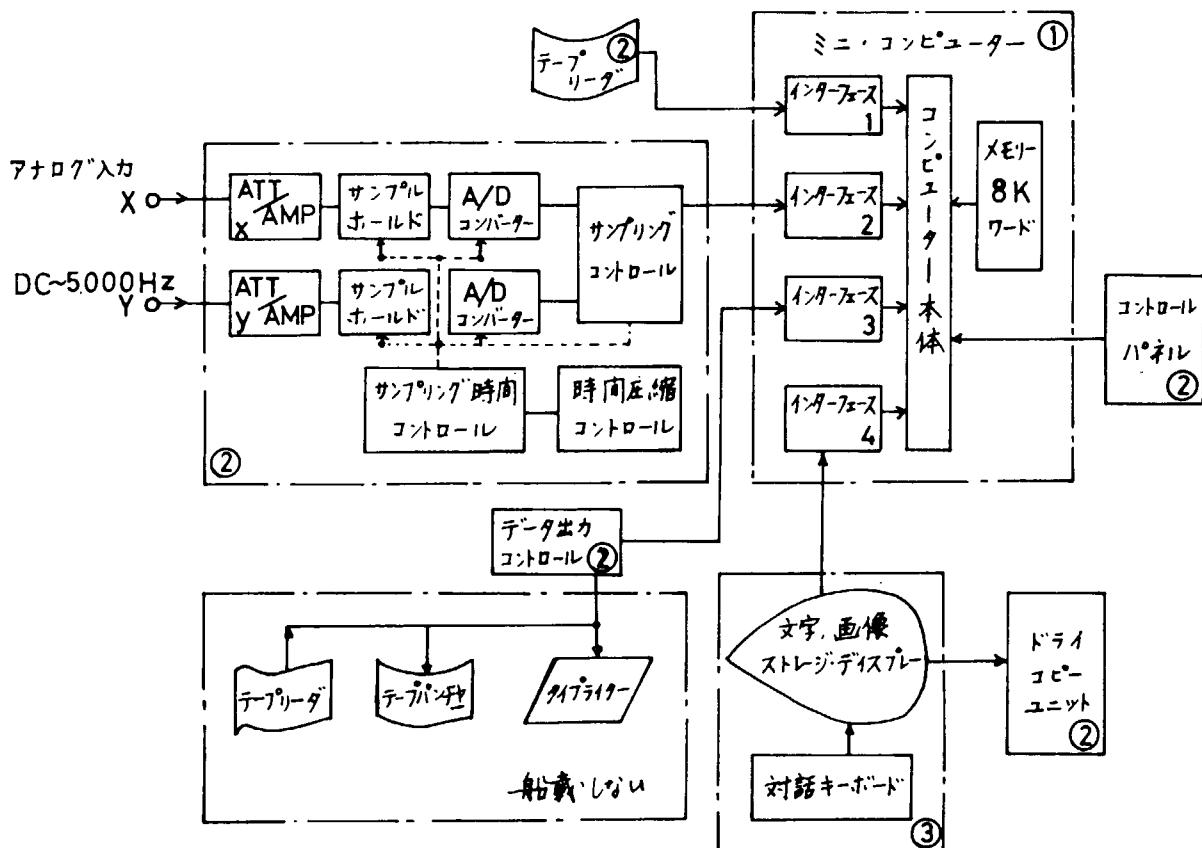


Fig. 5.1.2 船載型船体運動高速解析装置ブロック図

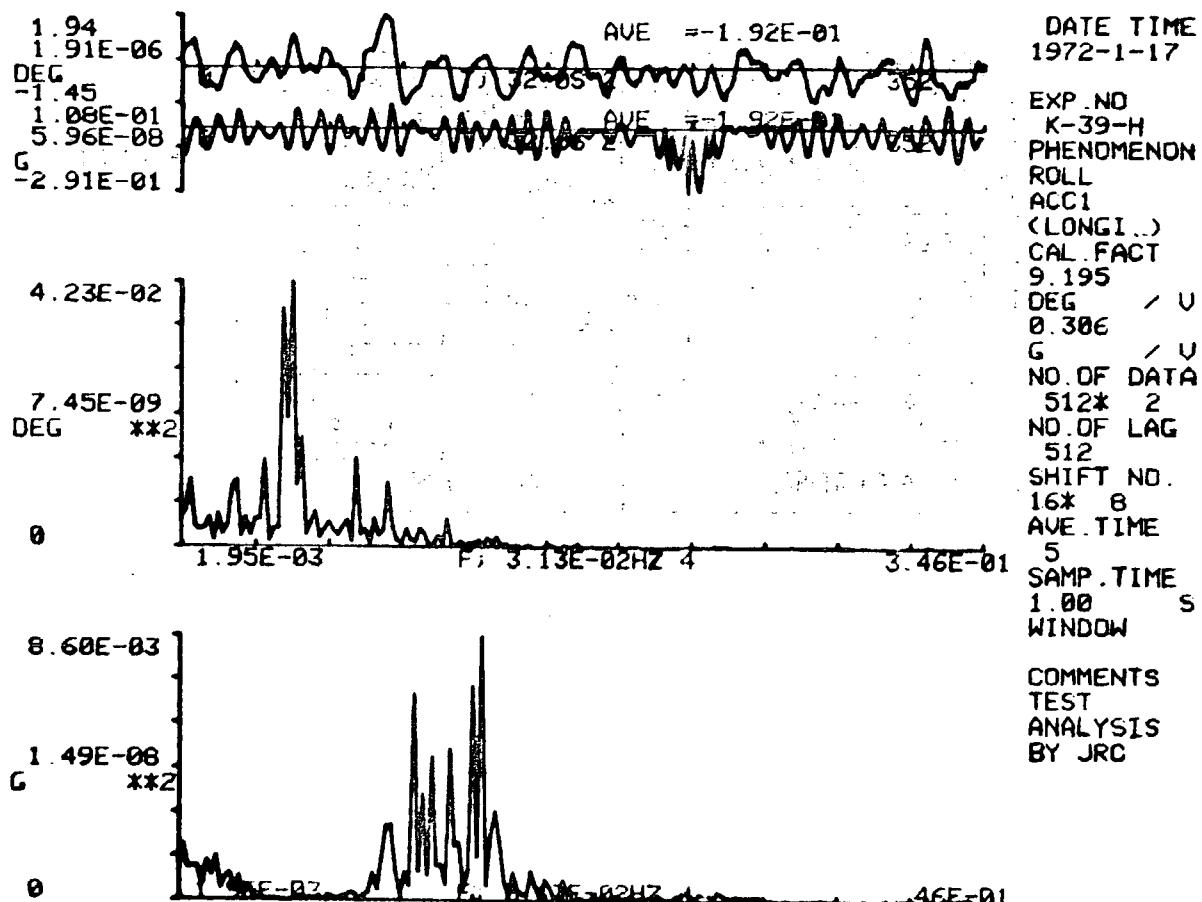
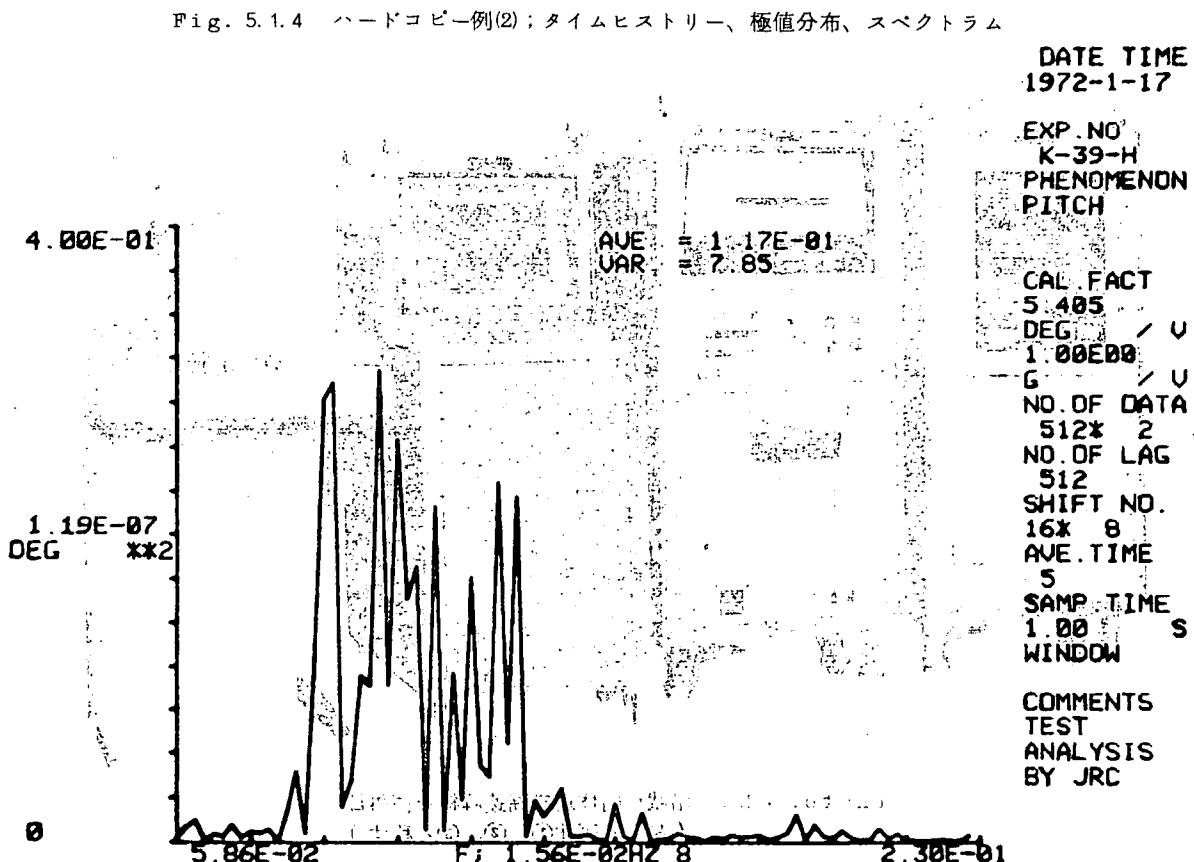
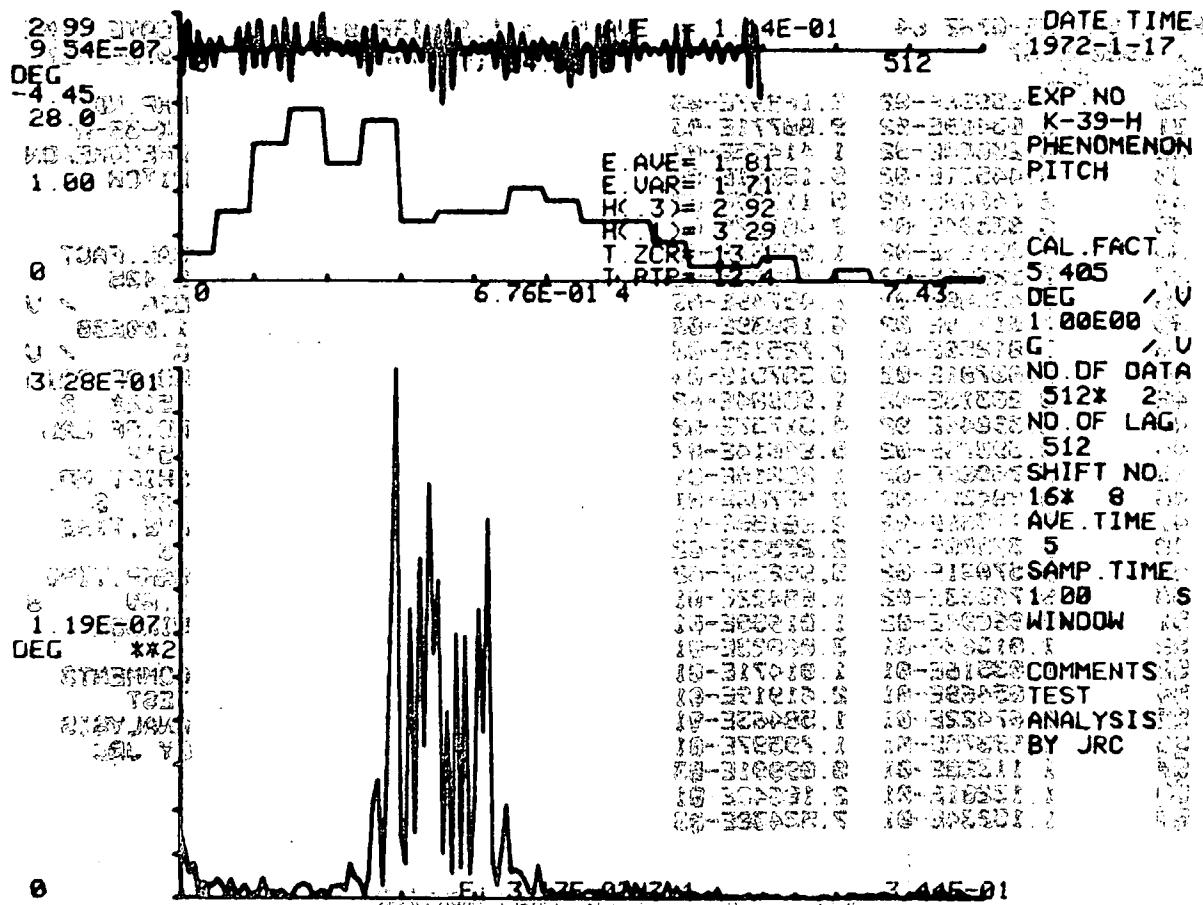


Fig. 5.1.3 ハードコピー例(1); 2現象のタイムヒストリーとオートスペクトラム



FJ 1.95313E-03HZ 64
 1.19209E-07
 DEG **2
 30 5.85938E-02 2.16997E-03
 31 6.05469E-02 9.80771E-03
 32 6.25000E-02 1.41406E-02
 33 6.44531E-02 9.15051E-04
 34 6.64063E-02 5.11789E-03
 35 6.83594E-02 3.48127E-03
 36 7.03125E-02 1.09797E-02
 37 7.22656E-02 2.74062E-03
 38 7.42188E-02 7.45749E-03
 39 7.61719E-02 6.18839E-03
 40 7.81250E-02 7.72512E-03
 41 8.00781E-02 6.58751E-04
 42 8.20313E-02 1.90904E-02
 43 8.39844E-02 4.51757E-02
 44 8.59375E-02 5.84614E-03
 45 8.78906E-02 1.20815E-01
 46 8.98438E-02 2.87783E-01
 47 9.17969E-02 2.98155E-01
 48 9.37500E-02 2.25587E-02
 49 9.57031E-02 3.99250E-02
 50 9.76563E-02 1.08422E-01
 51 9.96094E-02 1.01950E-01
 52 1.01563E-01 3.06023E-01
 53 1.03516E-01 1.01471E-01
 54 1.05469E-01 2.61919E-01
 55 1.07422E-01 1.58463E-01
 56 1.09375E-01 1.79597E-01
 57 1.11328E-01 8.09991E-03
 58 1.13281E-01 2.18640E-01
 59 1.15234E-01 7.53438E-03

Fig. 5.1.6 ハードコピー例(4)；例(3)の数表

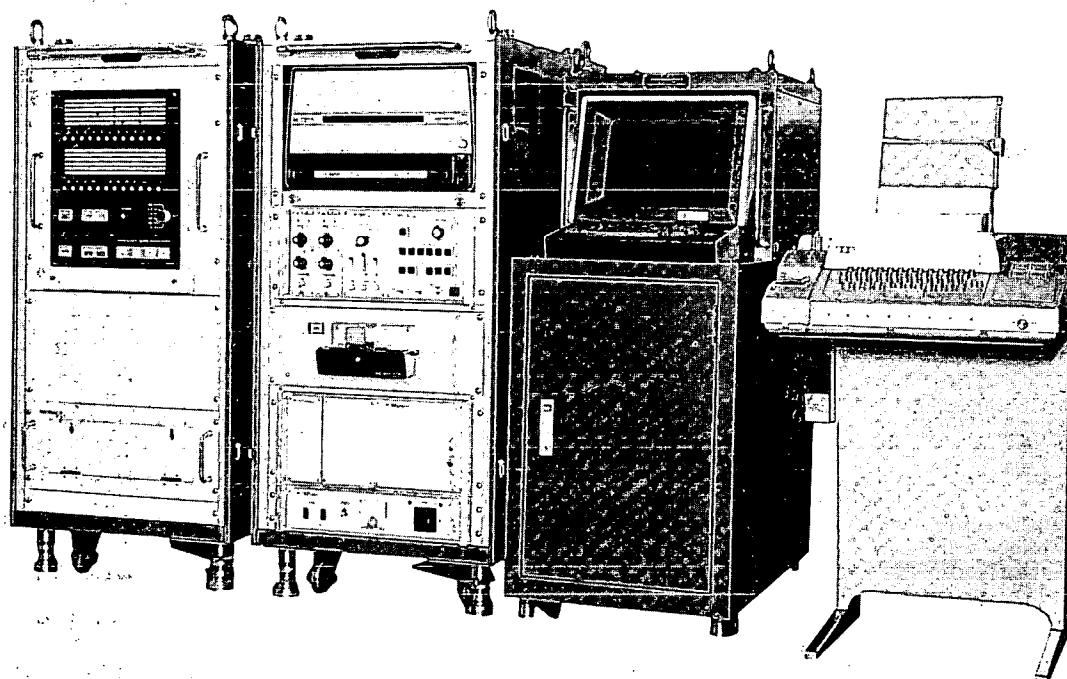


Photo. 5.1.1 船載型船体運動高速解析装置外観
(左から筐体①、②、③と称す)。

5.2 ニューヨーク航路コンテナ船 J A 号による実船試験

5.2.1 経緯

本実船試験は、前年度 K M 丸において使用された計測コンテナを、エヤコンディショナの増設、防水戸および電源用トランス等の設置の後、昭和 47 年 7 月、三菱重工神戸造船所より受取り石川島播磨重工にて供試船に積込の準備を行なつた。

本供試船の場合、計測コンテナをハッチカバー上に設置する事としたため、コード類の本数を減らし、計測コンテナとは防水型のコネクタにて簡単に取外しが行なえるよう改良を加えた。

5.2.2 供試船、試験期間および計測員

供試船はジャパンラインのニューヨーク航路大型コンテナ船 J A 号であり、試験はその航海の第 2 次航で行なつた。J A 号の主要目は下記のとおりである。

長さ(垂線間)	L pp	215.00 m
幅	B	32.20 m
深さ	D	19.00 m
吃水(満載)	d	9.80 m
載荷重量トン数		22,499 MT
主機	タービン M C R	50,000 P S × 1 SET
プロペラ		6翼 × 1 SET
回転数	M C R	130 RPM
	N O R	125 RPM
満載航海速力		25.1 KNOTS
コンテナ積載数		1,569 個(20'換算)

本試験の実施期間は、供試船の第 2 次航の期間であるが、下記のとおりである。

東京港発	昭和 47 年 11 月 3 日
パナマ運河通過	11 月 16 日
ニューヨーク着	11 月 20 日
発	11 月 23 日
フィラデルフィア着	11 月 24 日
発	11 月 25 日
サンフランシスコ着	11 月 27 日
発	12 月 2 日
パナマ運河通過	12 月 5 日
神戸港着	12 月 19 日

計測員として乗船した者は次の 3 名である。

星 楊 史 明	(ジャパンライン 造船部)
田 中 久仁雄	(石播重工 横浜技術研究所)
溝 口 純 敏	(石播重工 基本設計部)

本試験時の船の載荷状態を Table 5.2.1 に、またコンテナの積載状況を Fig. 5.2.1 に示す。

航路図を Fig. 5.2.2 および Fig. 5.2.3 に示した。点の位置は船内時間の正午における位置を示している。また、図中に OG による 1 日の平均船速を記入しておいた。

5.2.3 計測項目および計測日時

計測コンテナには、7 Ch のデータレコーダを3台設置しており、本試験での各データレコーダの計測項目は下記のとおりである。

A6.1 データレコーダ

- Ch 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. 艤上下加速度
7. 艤左右加速度(タイムコード兼用)

A6.2 データレコーダ

- Ch 1. 船速
2. プロペラ回転数
3. 風速
4. 風向
5. 舵角
6. ヨー角
7. 波高(タイムコード兼用)

A6.3 データレコーダ

- Ch 1. 艤上下加速度
2.~7. 予備

データレコーダ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わせて、全く平穏な日には、8時、12時、16時の3回、それ以外では4時、8時、12時、16時、20時、24時の6回とし、1回の計測時間は40分とした。船内時間の変更は20時~24時の間に行なわれていたので、計測装置の時刻もそれと同じくして変更した。

なお、荒れた日には、さらに臨時計測を行なつたが、この時の計測時間は60分とした。

波高はSR132より投棄式波高計6個の支給を受け計測を行なつた。

また、正午には、波の進んで来る様子を、本船のレーダにて観測し、ポラロイド写真により記録した。

計測日時とタイムコードとの対応をTable 5.2.2およびTable 5.2.3に示す。タイムコードは出発港における日時に合わせておいた。

総記録時間は約98時間の長さに達している。

5.2.4 計測装置の設置と配線

本試験の各装置はFig. 5.2.4に示す位置に設置した。図から明らかなように計測コンテナは、ハッチカバー上に置くこととしたので、荷役時には、コードを一切計測コンテナから外す必要がある。このため配線をFig. 5.2.5に示すように、電源および電話以外のすべてのコードをジャンクションボックス(C)にまとめた。ここでコードと計測コンテナは防水型コネクタにより、容易に外すことができる。また、航海計器関係のコードは太い1本のコードにまとめることにより、取外すコードの本数を大巾に減らすことができた。この部分の写真をFig. 5.2.6に示す。

データレコーダは試運転時に、本船のプロペラによる振動とデータレコーダ内部のシャーシとが共振を起していたので、データレコーダ全体をゴム紐にて吊り下げ全くこの振動を避けることができ、振動によるノイズの無いデータを記

録することができた。

5.2.5 計測経過および感想

計測コンテナシステムは、ほとんど無事故であつたので、非常に多くのデータを、あまり労力を要せずに収録することができた。これらのデータは昭和48年度にリアルタイム解析装置を使って解析する予定である。

全般的に海の状態はほぼ平穏であり、計測中のピッチ、ロールの最大値はそれぞれ±3度、±10度程度であつた。往航の太平洋は、北緯約40度近くで、3日間ほど大きいうねりの追波をうけ、船が波にのつて大きく動搖した。この時の外界状況の写真をFig. 5.2.7に、またレーダにて波の様子を記録した写真をFig. 5.2.8に示す。斜後方より大きいうねりが進行して来る様子がよくわかる。また大きいヨー角の変化があつたが、この時にコード関係の不良のため、ヨー角のデータが記録できなかつたのは残念である。本船のような高速船においては、気象の移動速度と本船の速度とが、同程度であるので、良い天候の海域に船が位置すれば、あまり揺れないで太平洋を東へ航海できることがわかつた。

大西洋に入るとカリブ海は全く平穏であつた。その後ニューヨークに向かって直ぐ北上し、ニューヨークに着く1日前に低気圧とぶつかり1日中しけた。この日にプロペラ回転数を80 rpmに落としたのは、ニューヨーク入港の時間的都合による。

復航は大西洋側は全く平穏であつた。太平洋側ではハワイ島の北の大きな低気圧を避け、ハワイ島の南を航行したので平穏であつたが、ミッドウェイ沖より2日程比較的荒れた。この時の記録をFig. 5.2.9～5.2.11に示す。この日にはFig. 5.2.12に示すごとく、斜前方よりの波を受け、ピッチは大きく、ロールは小さかつた。この時にプリツジが前後および左右に揺れるシャダーを感じた。このシャダー現象は、こんな波と思われる波でも簡単に発生していた。この近くでは往航と反対で気象の変化は急で、海象もよく變つた。

日本近海において、少し高い向い波に会い時々スプレーが生じた。

艦上下加速度においては、復航においてドリフトが大きく十分なデータを記録することができなかつた。

波高計測は6個のゾンデの内、5個海面に投下した。その投下位置はFig. 5.2.2の航路図に示してある。このうちデータが記録できたのは2回のみであり、その位置に丸印を付けた。記録の一部をFig. 5.2.11に示す。計測時間はゾンデ投入から13分程度、船からの推定距離11km程度で、記録にノイズが頻繁に入るようになつた。他のゾンデは計測の最初からノイズが入つたり、ドリフトが大きかつたため計測はできなかつた。

レーダによる波の様子の写真は前述のFig. 5.2.8のごとく、うねりの方向と波長をかなり的確に測定する手段になる。外界状況がFig. 5.2.13に示すようなほとんどうねりのみの場合には、Fig. 5.2.14に示すようにさらに明確になる。しかし風浪が支配的な海象の場合には、波の方向、波長は判然としない。この一例をFig. 5.2.12に示す。

S R 112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つた。本船はタービン船であり居住区とエンジンケーシングとが分離しているため、居住区の騒音は大変小さかつた。

全航海中、海が荒れた日数は少なかつたが貴重なデータを多く収録できた。これはジャパンライン株式会社、および“JA号”船長以下乗組員の方々の本試験に対する積極的な協力によるものであり、ここに改めて謝意を表します。

Table 5.2.1 S.S. "JAPAN" SHIP'S CONDITIONS

VOYAGE	OUT VOYAGE			HOME VOYAGE		
	PORT	TOKYO	PANAMA	NEW YORK	SAVANNAH	PANAMA	KOBE
d _f (M)	9.90	9.32	9.09	8.97	9.00	8.44
d _a (M)	10.45	10.55	10.24	9.55	9.49	9.50
d _m (M)	10.18	9.84	9.67	9.26	9.25	8.97
TRIM (M)	0.55	1.03	1.15	0.58	0.49	1.06
DISP. (T)	40,136.	38,526.	37,626.	35,446.	35,401.	34,150.
K.G. (M)	12.62	12.93	13.05	12.41	12.41	12.65
G.G. _o (M)	0.04	0.01	0.00	0.13	0.14	0.02
G. _o M (M)	1.87	1.58	1.47	1.98	1.98	1.85
F.O. (T)	5,863.	2,718.	1,818.	4,146.	3,651.	540.
W.B. (T)	2,930.	4,465.	4,465.	2,362.	2,812.	4,672.
CONT. (T)	14,274.6	14,274.6	14,274.6	12,005.6	12,005.6	12,005.6

ON DECK		364.2	479.0	525.0
BAY No.	(⑩	39	37	35
96.0	78.2	125.1		
131.7	199.7	206.4		
136.5	201.1	193.5		
51.5	95.6	86.7		
99.8	99.1	107.9		
145.8	16.2	133.5		
267.1	89.3	151.2		
400.2	479.3			
136.7	161.9			
134.2	141.8	152.2		
822.0	834.5	838.5		

IN HOLD

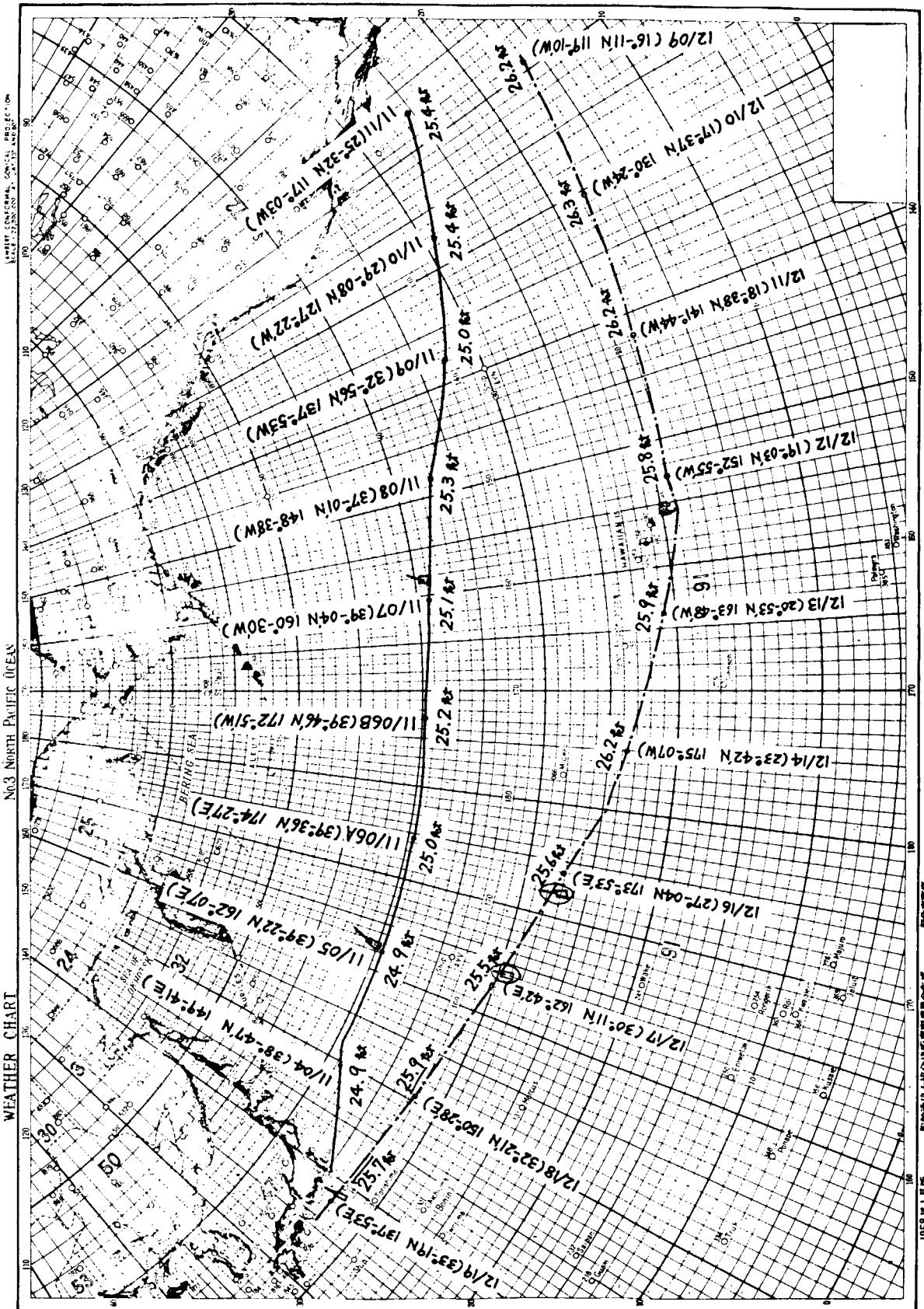
→ No. 6 HOLD → No. 4 HOLD → No. 5 HOLD → No. 4 HOLD → No. 3 HOLD → No. 2 HOLD → No. 1 HOLD →

ON DECK		80.9	233.6	386.3
BAY No.	(⑩	39	37	35
20.3	182.5	85.7		
40.3	125.9	227.8		
202.5	85.0			
202.6	50.8	142.4		
405.9	399.5			
10.4	151.8	70.6		
127.9		123.2		
173.1	130.9	271.1		
171.3	163.7			
157.7	168.3	95.5		
143.3	158.0	225.0		
227.2	229.2	236.8		

IN HOLD

→ No. 6 HOLD → No. 5 HOLD → No. 4 HOLD → No. 3 HOLD → No. 2 HOLD → No. 1 HOLD →

Fig. 5.2.1



④ 海上飛行機飛行位置
⑤ 海商小室データー部隊飛行位置

Fig. 5.2.2

Fig. 5.2.3

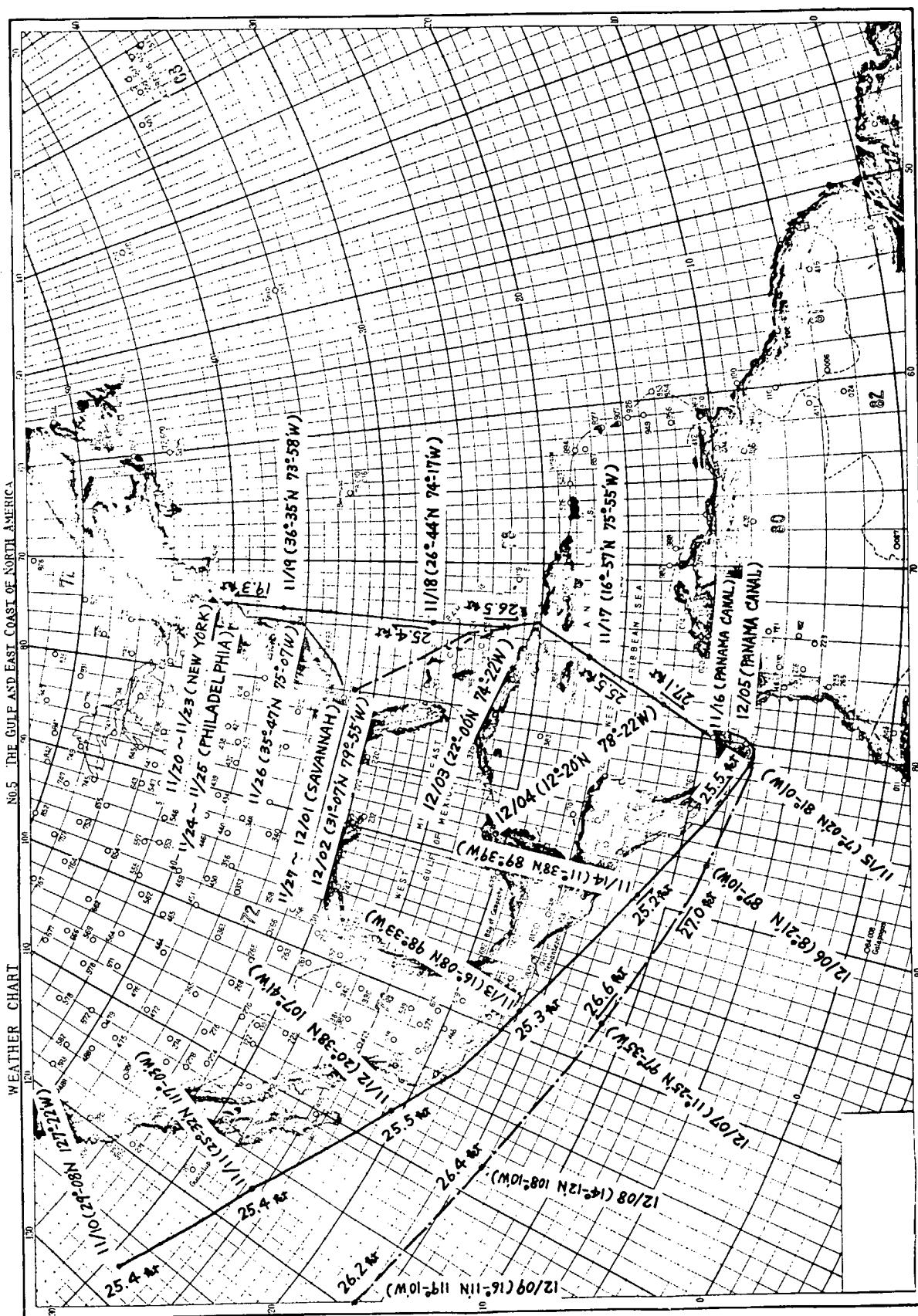


Table 5.2.2 JA号計測日誌

V O Y. N. 0 2 - A

数字は TIME CORD の日付を示す。

は計測時を示す。

←→ はV.T.R.録画時を示す。

_____ は 1 卷の TAPE を示す。

Table 5.2.3 JA 號計測日誌

V O Y. No. 0 2 - B

数字は TIME CORD の日付を示す。

は計測時を示す。

←→ はV.T.R.録画時を示す。

_____ は 1巻の TAPE を示す。

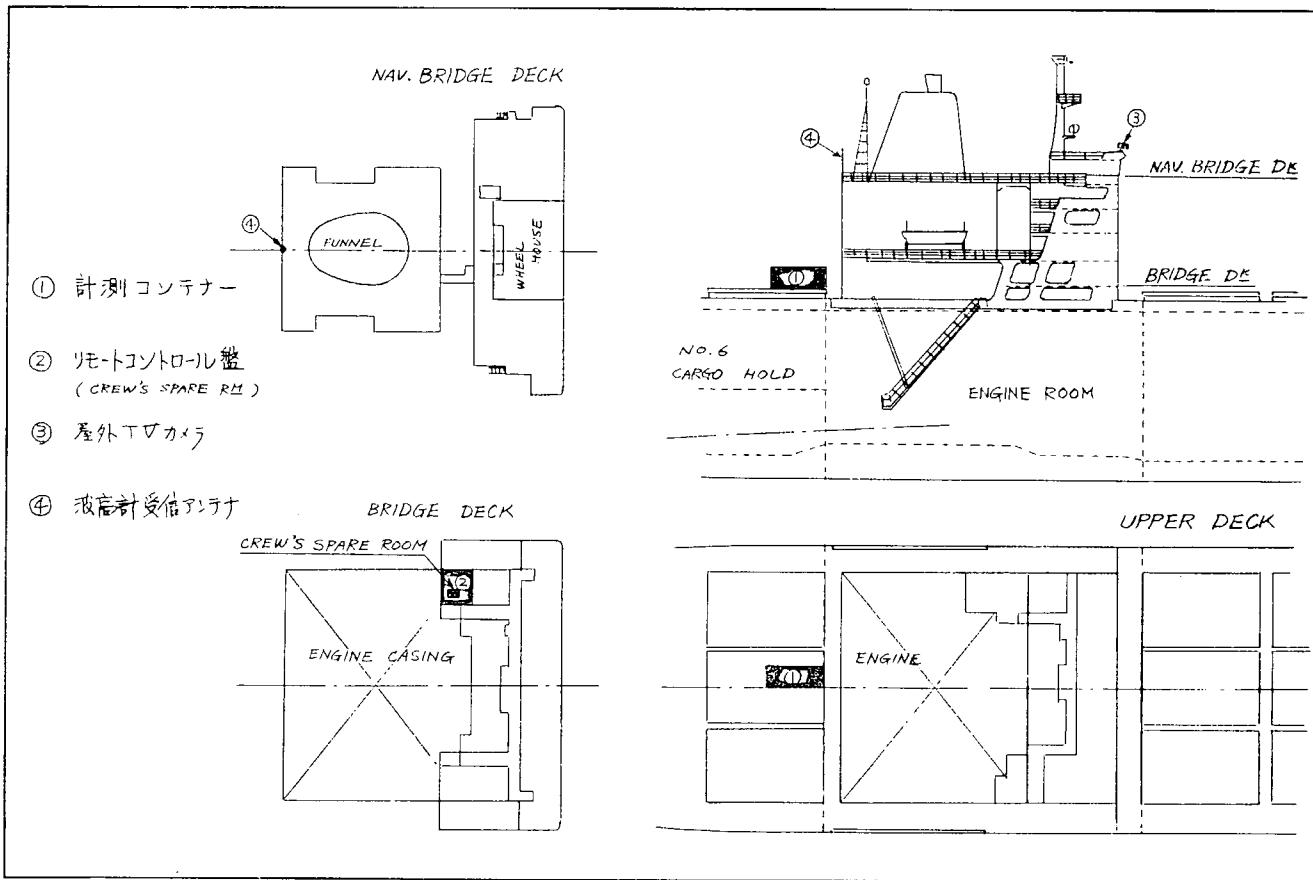


Fig. 5.2.4

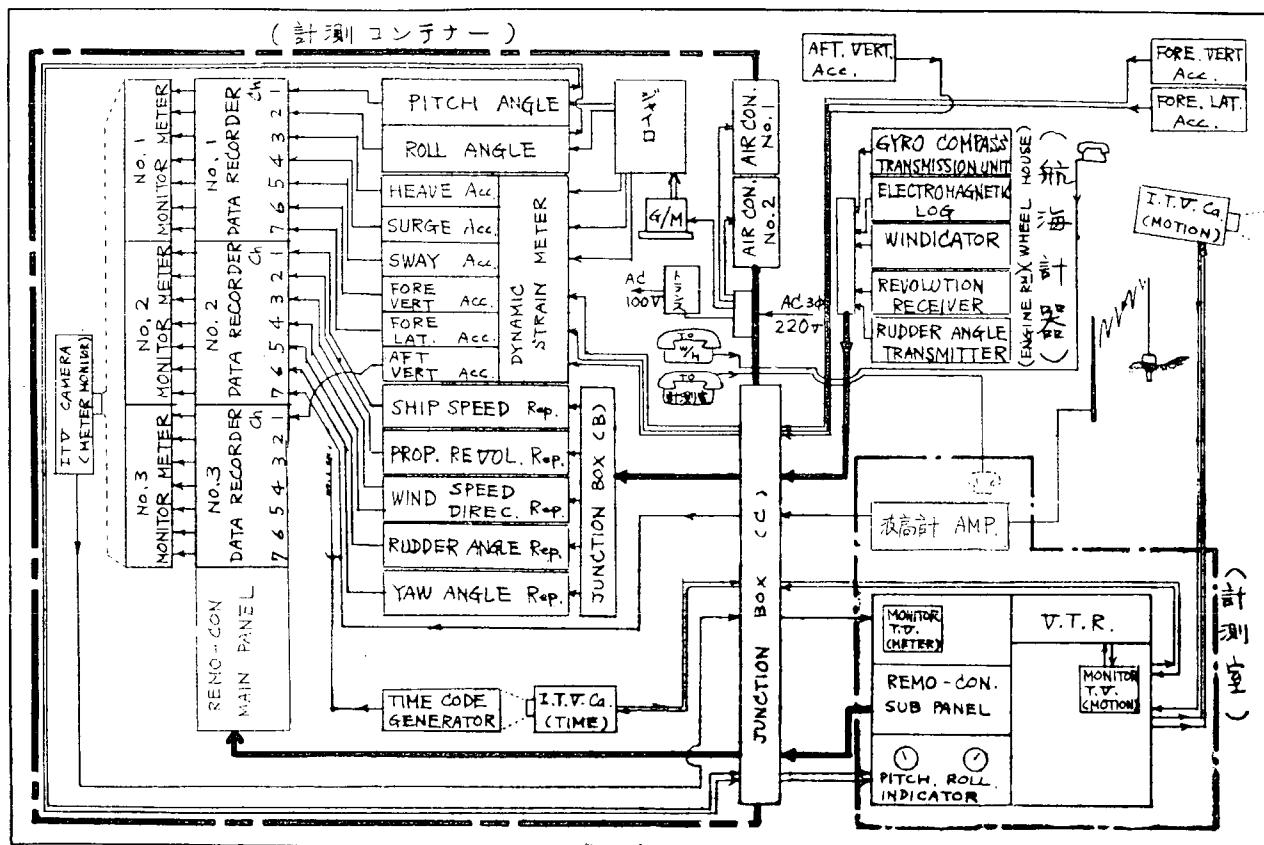


Fig. 5.2.5

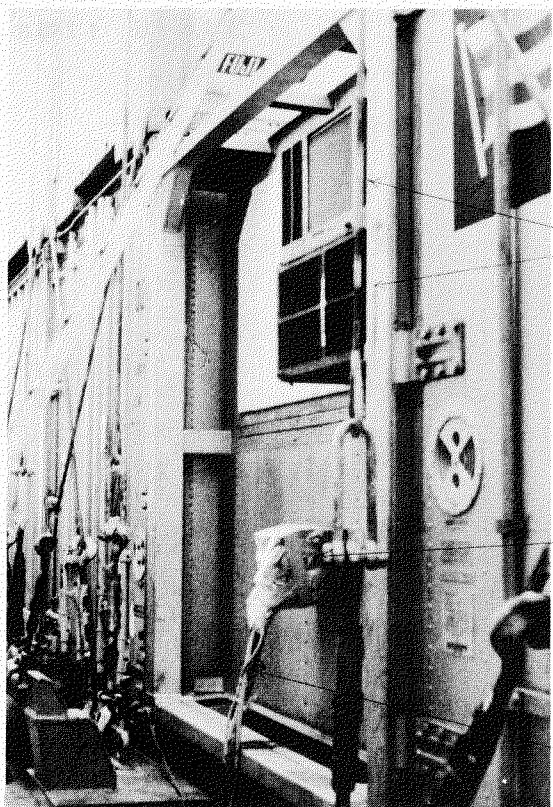


Fig. 5.2.6

11月7日 12時00分



Fig. 5.2.7

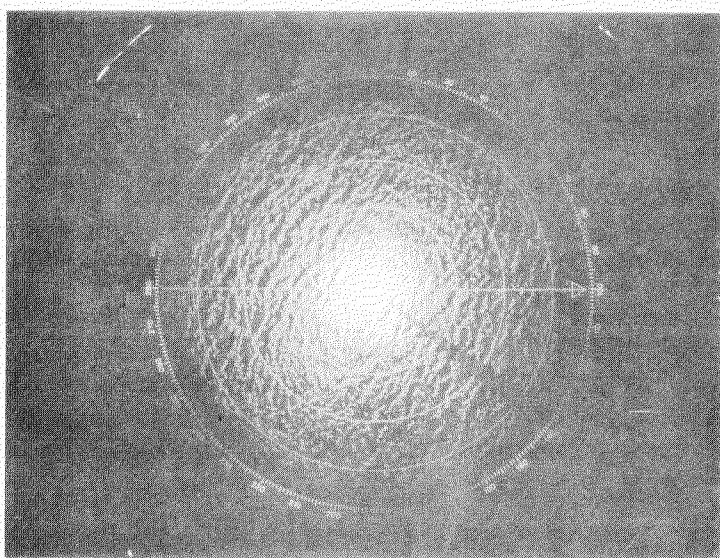
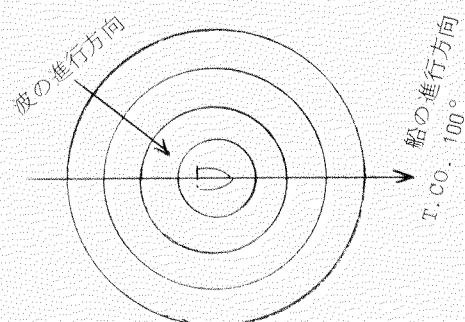


Fig. 5.2.8

11月7日 12時00分

RADAR RANGE 1 MILE



1 MILE
0.25 MILE
約 463 M

WIND FORCE 7

RELATIVE DIRECTION 280°

WIND RELATIVE SPEED 15Knots

ABSOLUTE DIRECTION 310°

ABSOLUTE SPEED 29Knots

WAVE HEIGHT 2.0M

SWELL HEIGHT 3.0M

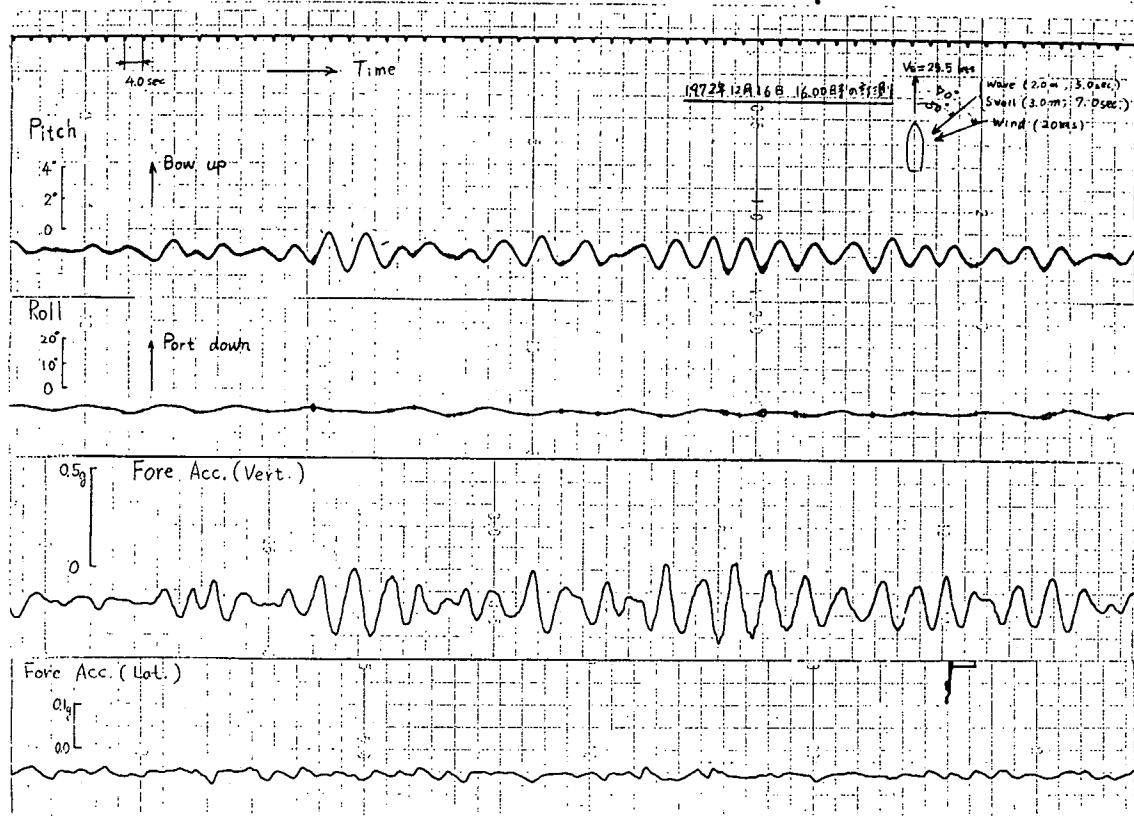


Fig. 5.2.9

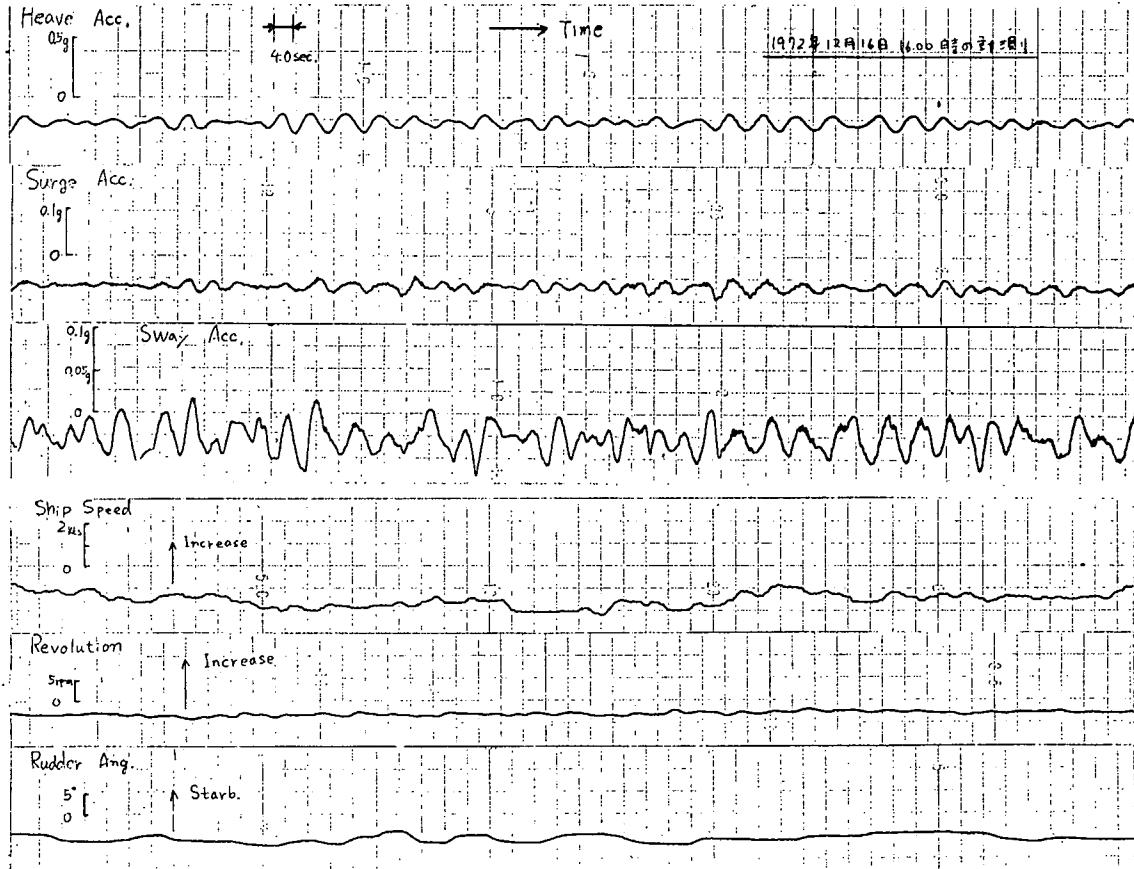


Fig. 5.2.10

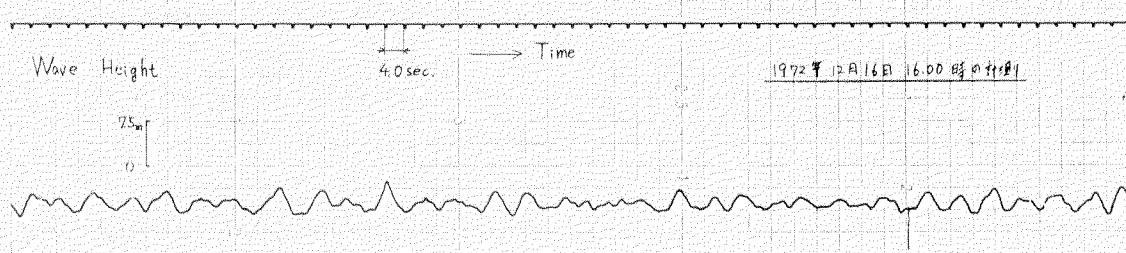


Fig. 5.2.11 波高記録(一部)

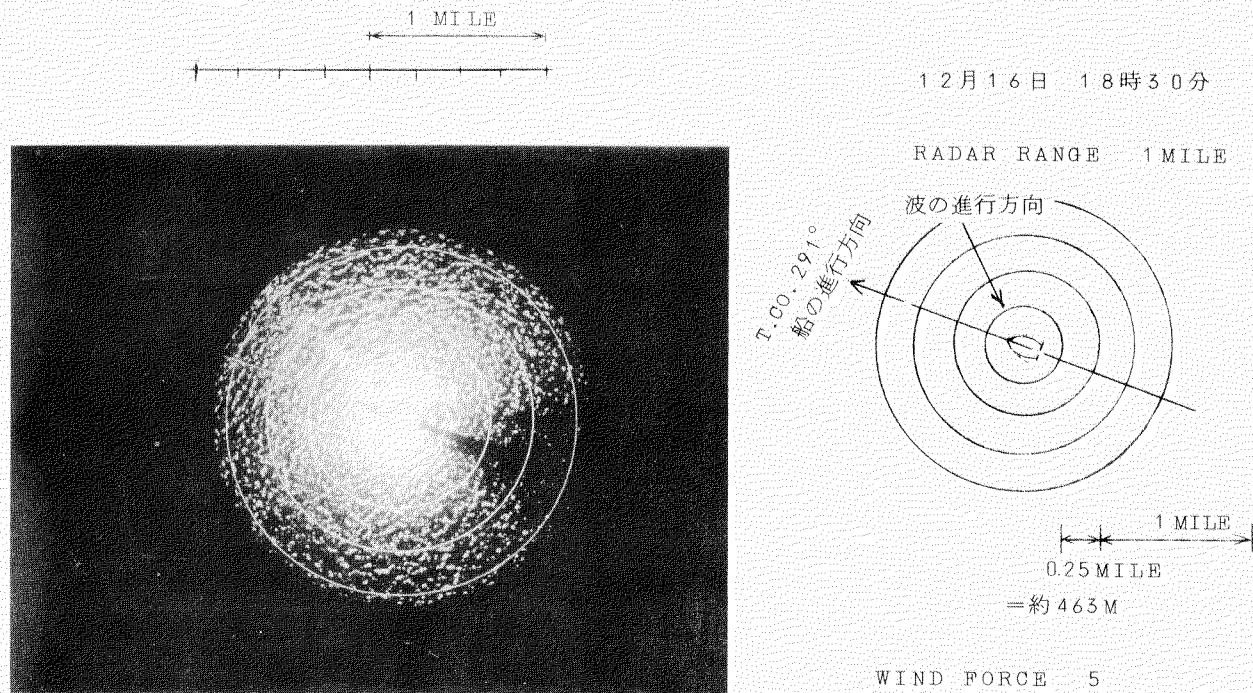


Fig. 5.2.12

WIND	RELATIVE DIRECTION	320°
	RELATIVE SPEED	37 Knots
	ABSOLUTE DIRECTION	360°
	ABSOLUTE SPEED	20 Knots

WAVE	HEIGHT	2.0 M
SWELL	HEIGHT	3.0 M

11月12日 12時00分



Fig. 5.2.13

11月12日 12時00分

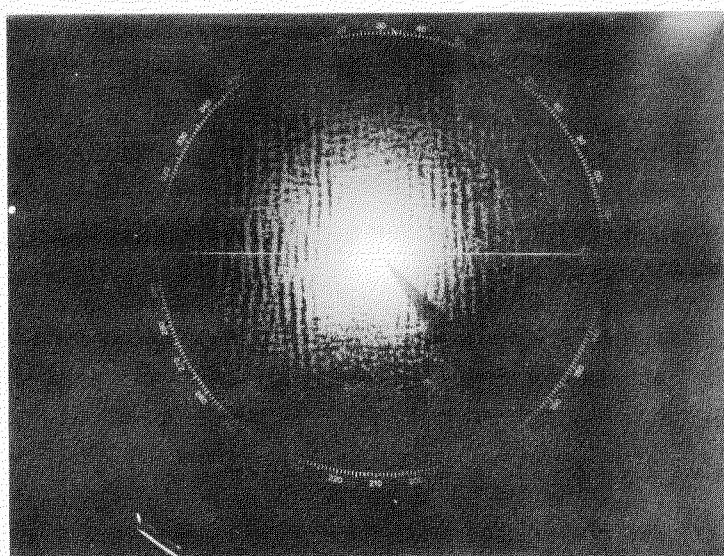


Fig. 5.2.14

WIND	WIND FORCE	4
	RELATIVE DIRECTION	100°
	RELATIVE SPEED	15 Knots
	ABSOLUTE DIRECTION	330°
	ABSOLUTE SPEED	13 Knots
	WAVE HEIGHT	1.0 M
	SWELL HEIGHT	1.5 M

5.3 P S W 航路コンテナ船 S A 号による実船実験

5.3.1 概要

本実験は S R - 125 研究部会 47 年度事業の一環として、川崎重工神戸工場建造であるコンテナ船の川崎汽船所有 S A 号に乗船して日本～北米西海岸間往復航海において、耐航性能を実船調査したものである。摘要事項は次のとおりである。

調査船 川崎汽船所有 コンテナ船 S A 号
調査航路 往航 大井 → ロサンゼルス
復航 サンフランシスコ → 神戸
調査期間 昭和 48 年 2 月～ 3 月
乗船者 川崎重工 基本設計部 鬼木博文
川崎重工 基本設計部 山下保巳
川崎重工 技術研究所 辰巳昭治
日本無線 三鷹製作所 関信

調査項目（計測コンテナによる計測）

1. 船体運動計測（データレコーダ収録）

ピッチ、ロール、艏方位、ヨーレート、舵角、上下・前後・左右各加速度、主機回転数、風向、風速、
波高、艏上下・左右各加速度、艉上下加速度

2. 海象調査（ビデオテープ収録）

船波状況

3. その他（8ミリ収録、目視記録）

解析項目（リアルタイム解析装置による解析）

ピッチ、ロール

5.3.2 経緯

本実船実験は当 S R - 125 研究部会にて製作された計測コンテナの第 3 回使用実験であり、第 2 回目として使用した石川島播磨重工の日本帰港と同時に神戸港にて昭和 47 年 12 月に受け取り、川崎重工明石工場にて調整の上川崎重工が計測を実施したものである。

前 2 回共計測コンテナがカーゴコンテナの一つとしてコンテナ積載スペースに搭載したのに対し、今回は、操作、配線、交通の便を考慮し、カーゴコンテナの積降しとは無関係な船橋オフィサークイッキに搭載した。

さらに、本委員会で本年度新に製作したリアルタイム解析装置を今回始めて搭載の上、実時間によるデータ解析に使用した。これらの結果は次年度の研究報告書に収録する予定である。

5.3.3 供試船、計測員

供試船は、川崎汽船の P.S.W コンテナ船 S A 号であり、今回実船試験はその第 10 次航に当る。

S A 号の主要目は次のとおりである。

長さ（垂線間） L pp 211.00 m
幅 B 30.60 m
深さ D 19.00 m
吃水（満載） d 11.50 m
載貨重量トン数 D.W. 30,465 t
主機 ディーゼル 36,000 PS × 1 Set
プロペラ 5 翼 × 1 Set

回転数	M C R	110 rpm
	N O R	104 rpm

試運転時最大速力 26.304 Knots

コンテナ積載数 1,411個

また、本計測のため乗船した者は次の4名である。

鬼木博文 (計測全般担当)
 山下保巳 ("")
 辰巳昭治 (計測コンテナ担当)
 関信 (リアルタイム解析装置担当)

5.3.4 計測項目、計測時間

計測コンテナには、7CHのデータレコーダ3台を設置し、それぞれ次の項目を記録した。

16.1 データレコーダ

- CH 1. ピッチ
- 2. ロール
- 3. 上下加速度
- 4. 前後加速度
- 5. 左右加速度
- 6. 艤前後加速度
- 7. タイムコード

16.2 データレコーダ

- CH 1. 船速
- 2. プロペラ回転数
- 3. 風速
- 4. 風向
- 5. 舵角
- 6. 艤方位
- 7. タイムコード

16.3 データレコーダ

- CH 1. 艤加速度
- 2. ヨーレート
- 3. 波高
- 4. }
- 5. } 予備
- 6. }
- 7. タイムコード

計測コンテナ内に設置されたデータレコーダおよびプリッジ操舵室内におかれた艤部を撮影記録するV.T.R.は、リアルタイム解析装置と共に置かれた遠隔操作盤により自動運転を行なうことができる。

海象が平穏な日は、8時、12時、18時の3回定期計測を、荒れた日には、臨時計測として、その都度臨時記録を行なつた。

コンテナの系統図をFig. 5.3.1(c)、プリッジ内の系統図をFig. 5.3.2に示す。

5.3.5 リアルタイム解析装置の搭載

本計測では S R - 1 2 5 研究部会にて今年度製作したリアルタイム解析装置を第 1 回目のケースとして、本船に搭載の上使用した。

本装置は、ピッチ角、ロール角、各種加速度等の不規則現象を入力として高速でコリレーション、スペクトラム等の数値解析をし、その結果をプラウン管表示すると共に、必要に応じそれをそのままコピーすることができる装置である。

同時解析項目数が 2 Ch であるので本航海ではピッチ、ロール角のみをリアルタイムにて解析させるようにした。その他の項目は今後陸上にて、同装置を使用し解析して行く予定である。

5.3.6 計測装置、解析装置等の設置と配線

本計測では、前 2 回の計測の時と異り、居住区、ブリッジ、計測コンテナ相互の交通、配線の便および外界を見ながら操作できる便を考慮して計測コンテナはオフィサー・デッキへリアルタイム解析装置、遠隔操作盤はブリッジ操舵室内に設置した。

二つのデッキ共断熱材を使用したデッキ面である関係上、溶接によるピース取付ができないのでこれらの固縛、防振については次のとおり実施した。

計測コンテナ固縛、防振 ……

コンテナ下部四隅に防振ゴムを置く一方、上部四隅から防振ゴムを介しワイヤーロープにてコーミングに溶接されたアイピースに固縛。

遠隔操作盤、リアルタイム解析装置固縛 ……

ブリッジ内に、あらかじめ角材で枠決めされたプライウッドを接着材にて床面に固定の上、角材と本体をボルトを使用して固定。

計測コンテナおよび遠隔操作盤を結ぶケーブルのために貫通孔をブリッジに 1 ケ所設けた。その貫通孔は、その他屋外テレビカメラと遠隔操作盤を結ぶケーブルおよび計測コンテナと航海計器のレピーターを結ぶケーブル用にも利用し、結局本船には 1 個所だけの貫通孔を設けることで解決された。計測装置等の設置位置を Fig. 5.3.3 に示す。

5.3.7 おわりに

今回の実船実験によつて貴重な多くの実船データを収録し、計測を終了することができた。

これは、川崎汽船株式会社、及び S A 号船長以下乗組員の方々の積極的御協力によるものとあらためて謝意を表するものである。

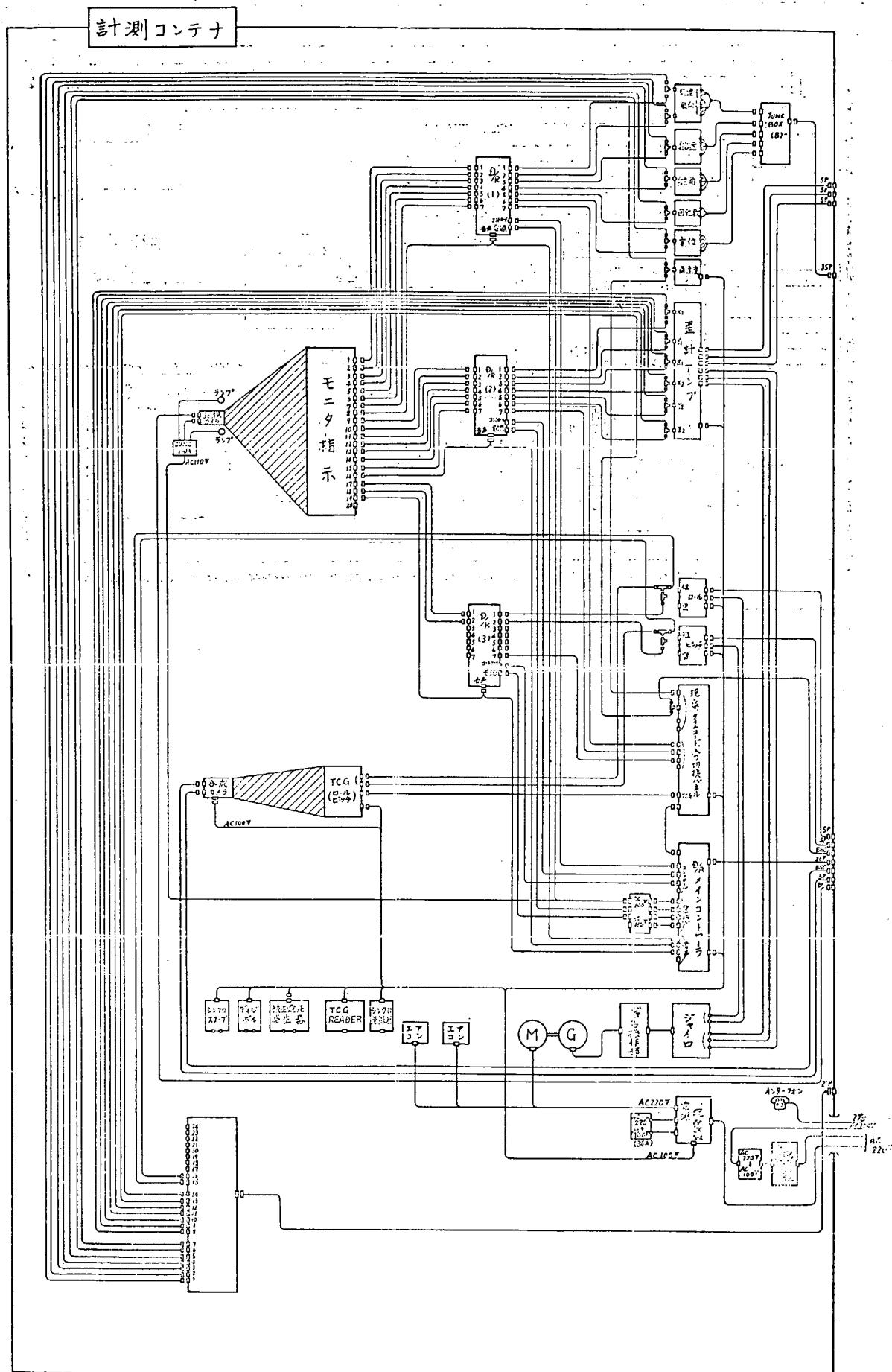
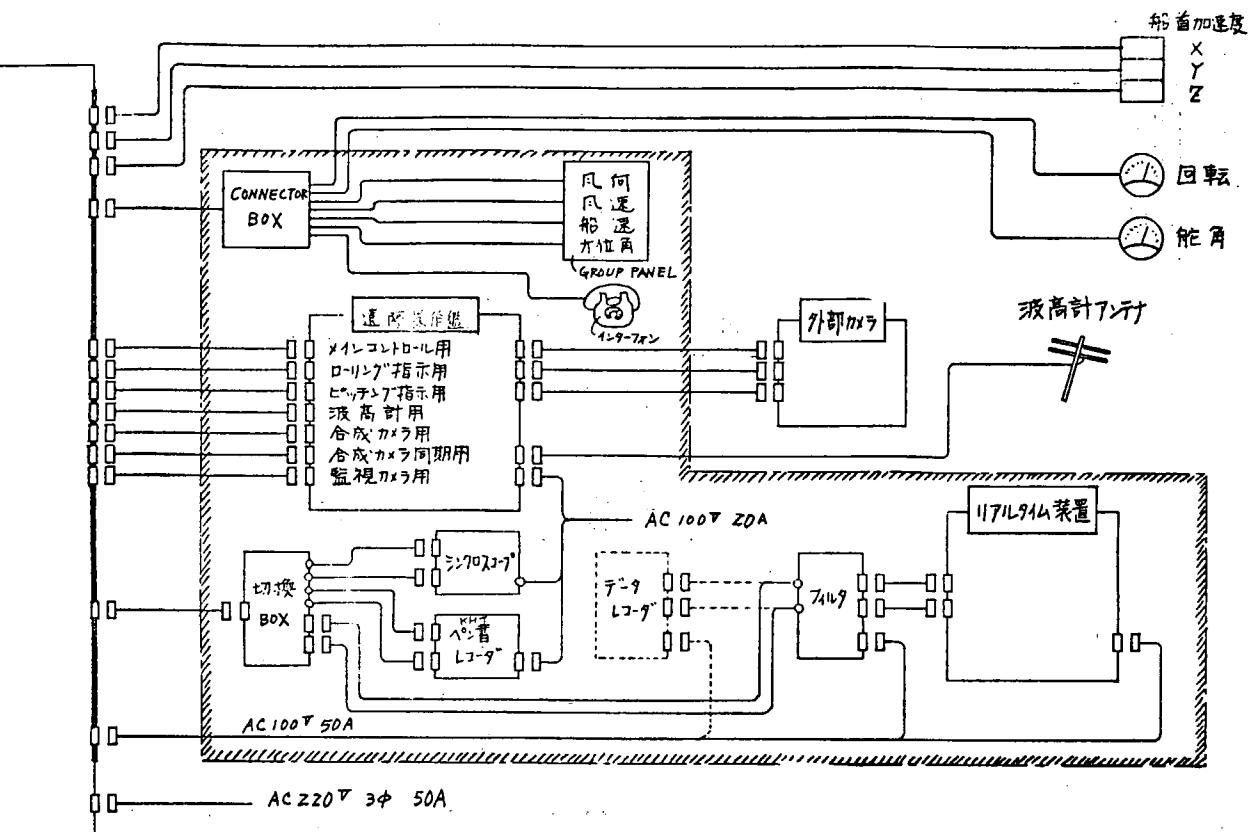
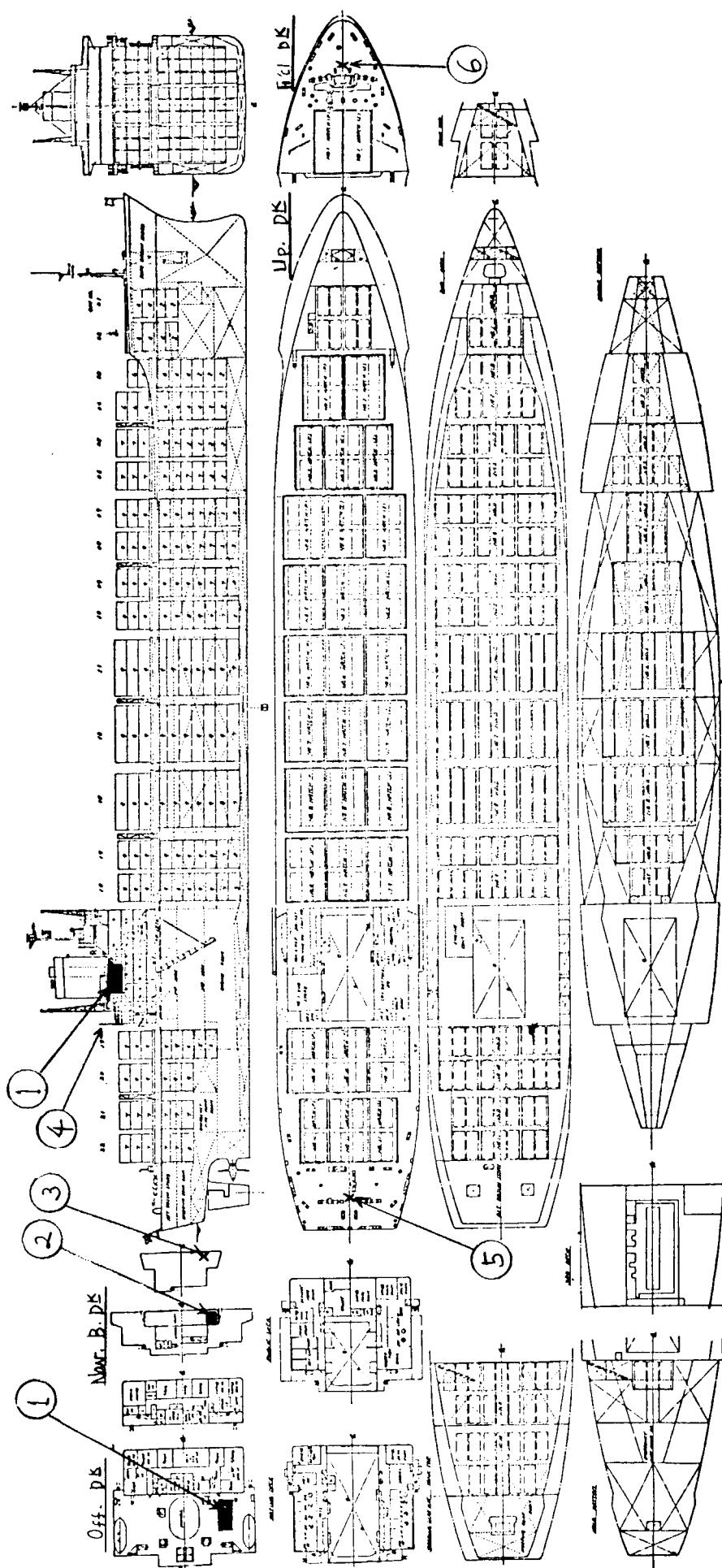


Fig. 5.3.1





- ① 計測コントローラ
- ② 遠隔操作盤、リアルタイム解析装置
- ③ 屋外テレビカメラ
- ④ 波高計アンテナ
- ⑤ 加速度計
- ⑥ 精加速度計

Fig. 5.3.3

6. 結 言

本研究は昭和46年度より4年計画で実施されているが、本年度はその第2年目として、前述のような研究が行なわれた。さらにさかのぼれば昭和44年度から実施されたSR-108研究部会による研究の継続でもあり、理論計算、模型実験および実船試験により高速コンテナ船についての耐航性能はかなりの程度把握されたものと思われる。

来年度はこれらの研究をさらに発展させ、理論計算としては実際就航海面における速度低下の資料を求めるほか耐航性に関するシミュレーション計算を行ない、模型実験としては斜め波中における船体表面に働く変動圧力の計測や、波浪中速度低下推定に必要な抵抗増加や推進性能に関する実験を継続して実施する。また、実船試験結果の解析および計測コンテナを搭載しての実船計測も引き続き実施され、特に来年度は波浪荷重や波浪の計測も追加される予定で、その成果が期待される。