



第108研究部会
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

昭和47年3月

社団法人

日本造船研究協会

高速貨物船の波浪中における諸性能に関する研究

目 次

緒 言	1
委 員 構 成	2
配 布 資 料	3
1. 耐航性に関する諸要素の短期分布	4
1. 1 波浪中の抵抗増加	4
1. 1. 1 斜波中における抵抗増加	4
1. 1. 2 不規則波中の抵抗増加	10
1. 2 船首部の海水打込み	12
2. 耐航性に関する諸要素の長期分布	18
2. 1 動揺、加速度	18
2. 1. 1 計 算 方 法	18
2. 1. 2 計 算 状 態	18
2. 1. 3 計 算 結 果	18
2. 2 海 水 打 込 み	37
3. 不規則波中の速度低下と操船法	40
3. 1 馬力増加による速度低下	40
3. 1. 1 速度低下の意味および仮定	40
3. 1. 2 計 算 法	40
3. 1. 3 結果および考察	41
3. 2 危険回避による速度低下	50
3. 3 短期不規則海面での操船法	57
4. 最適航路設定の 1 計算	63
4. 1 計 算 法	63
4. 2 計 算 例	63
5. やせ型船の動揺特性	68
5. 1 断面流体力係数	68
5. 2 Lewis Form 船型に働く流体力	68
5. 3 2 軸船型についての断面流体力	69
結 言	104
参 考 文 献	105

緒 言

近年、定期貨物船は高速化の傾向を示し、すでに航海速力 21～23ノットのものが就航しており、また、コンテナ船では 26～27ノットのものも就航し始めている。このような高速船について、わが国では建造、運航の経験が少なく、また、これらに関する研究も従来ほとんど実施されておらず、すべての面で資料が不足している。本研究はこのように今後ますます高速化が予想される定期貨物船・コンテナ船に関する重要問題である波浪中の速度低下、動搖等の推進性能、およびスラミング、海水打込み等の現象や、これらに対する船型、波浪等の影響を解明し、その許容限界、予測方法等を求め、これらの船舶の設計および経済性向上のための資料を求めるために、昭和45年度に引き続き次のような理論計算を行なつた。（各項の執筆者を（ ）で示す。）

(1) 耐航性に関する諸要素の短期分布（大阪府大 細田、日立造船 雅野）

I.S.S.C. の波スペクトルを用いた不規則波中の抵抗増加のスペクトル分布および海水打込みの確率の計算

(2) 耐航性に関する諸要素の長期分布（阪大 斎藤、日立造船 雅野）

Walden の北大西洋の波浪の長期分布の資料を用いた動搖、加速度、打込み海水の高さ、海水打込みの確率などの長期分布の計算

(3) 不規則波中の速度低下と操船法（大阪府大 細田、日立造船 雅野）

馬力增加による速度低下 (Nominal loss of speed) の計算、危険回避による速度低下 (Deliberate loss of speed) の計算、および短期不規則海面で危険を避けるために行なう針路変更、速度低下などの操船方法の検討

(4) 最適航路設定の 1 計算（日立造船 雅野）

前項で計算された理論的速度制限曲線を用い、仮想波浪海面を与えた最適航路の計算

(5) やせ型船の動搖特性（大阪府大 姫野）

コンテナ船等のいわゆるやせ型船の動搖特性を明らかにするために、船体に働く流体力の理論的計算によるタンカーなどの肥大船型との相違の調査

なお、本研究部会では上記の理論計算のみが行なわれたが、SR125では、同種の研究として、模型実験および実船実験が行なわれたことを付記しておく。

委 員 構 成 (敬称略、順不同)

部 会 長 元 良 誠 三 (東 京 大 学)

副 部 会 長 中 村 彰 一 (大 阪 大 学)

委 員

1. 大 学

齊 藤 公 男 (大 阪 大 学) 竹 沢 誠 二 (横浜国立大学)

田 才 福 造 (九 州 大 学) 田 中 紀 男 (大阪府立大学)

藤 野 正 隆 (東 京 大 学) 前 田 久 明 (東 京 大 学)

2. 研 究 所

小 川 陽 弘 (船舶技術研究所) 高 石 敬 史 (船舶技術研究所)

3. 団 体

井 上 勝 (原子力船開発事業団) 大 橋 誠 三 (造船技術センター)

4. 船 主

小 杉 隆 祥 (大阪商船三井船舶) 高 城 清 (川 崎 汽 船)

田 中 兵 衛 (昭 和 海 運) 八 田 守 江 (日 本 郵 船)

日 向 義 博 (ジャパン・ライン) 牧 園 正 孝 (山下新日本汽船)

森 川 卓 (船 主 協 会)

5. 造 船 所

相 原 和 樹 (三 菱 重 工) 安 部 光 弘 (三 井 造 船)

岡 本 洋 (川 崎 重 工) 辛 島 光 二 (三 菱 重 工)

雁 野 昌 明 (日 立 造 船) 滋 野 正 明 (佐 野 安)

瀬 尾 敏 一 (日 本 鋼 管) 高 木 又 男 (日 立 造 船)

田 崎 亮 (石川島播磨重工) 高 松 政 (日 立 造 船)

田 添 英 士 (大 阪 造 船) 永 松 秀 一 (住 友 重 機)

花 園 史 郎 (函 館 ド ツ ク) 藤 井 斎 (三 菱 重 工)

藤 原 芳 夫 (名 村 造 船) 森 正 彦 (石川島播磨重工)

山 崎 芳 嗣 (佐 世 保 重 工) 山 本 修 (日 本 鋼 管)

6. メーカー

鎌 原 正 夫 (東 京 計 器)

配 布 資 料 (昭和46年度)

- | | |
|---|----------------------|
| 1. 試験研究補助金交付申請書(造研) | (S R 1 0 8 - 1 - 1) |
| 2. 斜め規則波中の海水打込み(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 1 - 2) |
| 3. 位置修正 μ 図(細田委員) | (S R 1 0 8 - 1 - 3) |
| 4. 無次元抵抗増加係数図(細田委員) | (S R 1 0 8 - 1 - 4) |
| 5. 耐航性能に関する短期分布(齊藤委員) | (S R 1 0 8 - 1 - 5) |
| 6. $L/B = 8$ 、2軸船型の自由横揺れ試験(高石委員) | (S R 1 0 8 - 1 - 6) |
| 7. 加州丸計測結果(日立・府大) | (S R 1 0 8 - 1 - 7) |
| 8. ごうるでんげいとぶりつじ計測結果(阪大・府大) | (S R 1 0 8 - 1 - 8) |
| 9. 箱根丸計測結果(三菱重工) | (S R 1 0 8 - 1 - 9) |
| 10. あめりか丸計測結果(住重・钢管) | (S R 1 0 8 - 1 - 10) |
| 11. ごうるでんげいとぶりつじ計測結果(川重) | (S R 1 0 8 - 1 - 11) |
| 12. 船体応答の長期分布に関する計算案(日立・阪大) | (S R 1 0 8 - 2 - 1) |
| 13. 最適航路計算の1例(日立) | (S R 1 0 8 - 2 - 2) |
| 14. 強制ヨーリング法による操縦性に関する安定微係数の測定結果図(藤野委員) | (S R 1 0 8 - 2 - 3) |
| 15. 最適航路計算の1例(高木委員) | (S R 1 0 8 - 4 - 1) |
| 16. 波浪中の抵抗増加(細田委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 1) |
| 17. 船首部の海水打込み(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 2) |
| 18. 耐航性に関する諸要素の短期分布(齊藤委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 3) |
| 19. 海水打込み(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 4) |
| 20. 馬力増加による速度低下(細田委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 5) |
| 21. 危険回避による速度低下(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 6) |
| 22. 短期不規則海面での操船法(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 7) |
| 23. 最適航路の計算(雁野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 8) |
| 24. やせ型船の動搖特性(姫野委員) | (S R 1 0 8 - 5 - 9) |

1. 耐航性に関する諸要素の短期分布

1.1 波浪中の抵抗増加

1.1.1 斜波中における抵抗増加

短波頂不規則波中における馬力あるいは速度低下を推定する場合、斜波中の抵抗増加の応答関数が必要となる。

(1) 座標系

静止水面上に原点 O_S をとり、空間固定座標系を $O_S - XYZ$ とする。船体は平均船速 V で X 軸と χ なる角度の方向に移動し、入射波は X 軸の正の方向から、波速 c で負の方向に進むとすれば座標系は Fig. 1.1.1(a)~Fig. 1.1.1(c) のごとく表わせる。

船体運動を重心 G の変位と重心を通る 3 つの軸のまわりの回転角で表わせば

- (a) Surge x_G
- (b) Sway y_G
- (c) Heave z_G
- (d) Yaw ϕ
- (e) Pitch θ
- (f) Roll φ

Fig. 1.1.1(a), (b), (c) に示す座標系間の関係より

$$\left. \begin{array}{l} x = X \cos \chi + Y \sin \chi - V t \\ y = -X \sin \chi + Y \cos \chi \\ z = Z \end{array} \right\} \quad (1.1.1)$$

$$\left. \begin{array}{l} x' = (x - x_G) + \phi (y - y_G) - \theta (z - z_G - h_G) \\ y' = -\phi (x - x_G) + (y - y_G) + \varphi (z - z_G - h_G) \\ z' = \theta (x - x_G) - \varphi (y - y_G) + (z - z_G) \end{array} \right\} \quad (1.1.2)$$

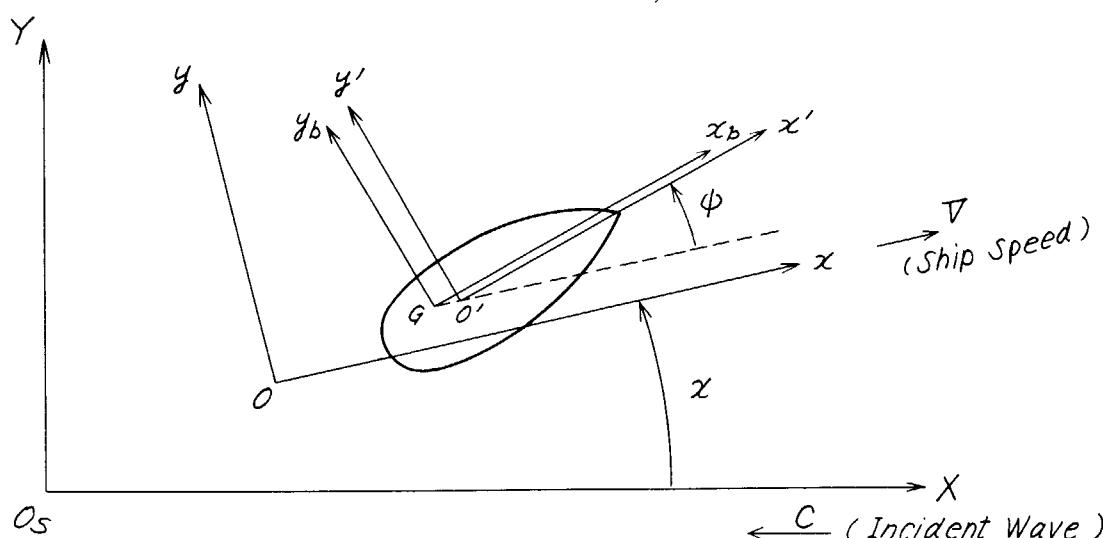


Fig. 1.1.1. (a) Coordinate System

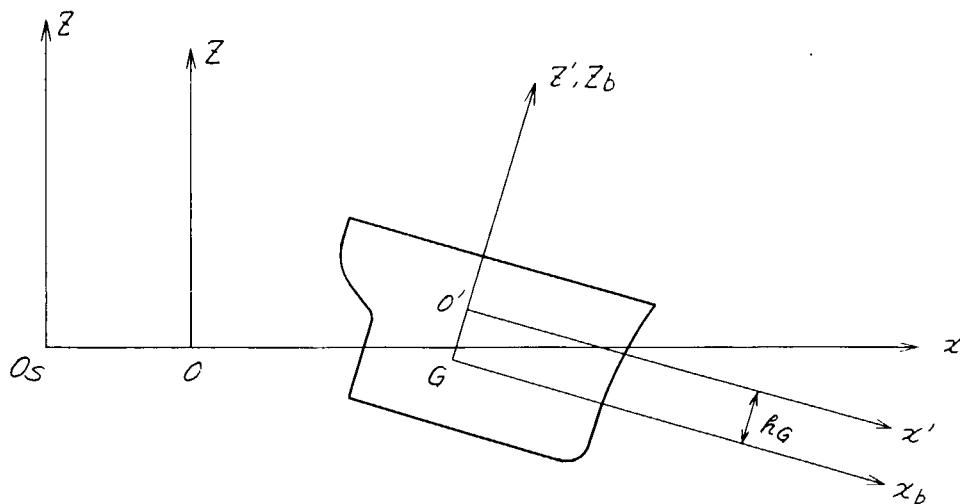


Fig. 1.1.1 (b) Coordinate system

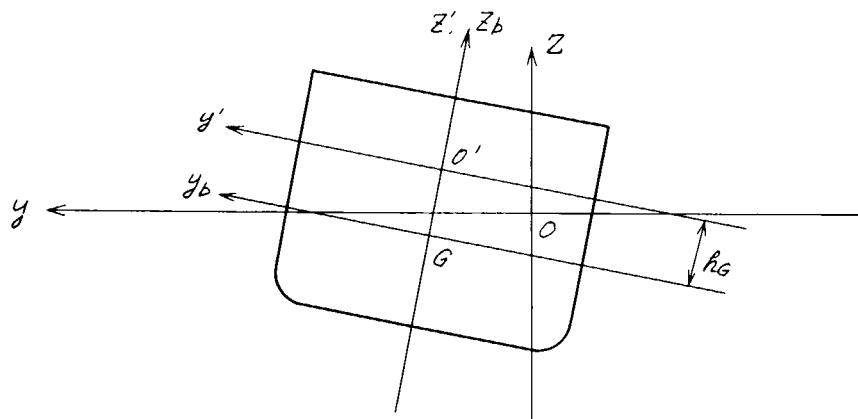


Fig. 1.1.1 (c) Coordinate System

(2) 境界条件

流体運動は、速度ポテンシャル

$$\Phi(X, Y, Z; T) = \phi(x', y', z'; t) \quad (1.1.3)$$

を持つとする。物体の境界が

$$F(X, Y, Z; T) = f(x', y', z') = 0 \quad (1.1.4)$$

で与えられるるとすると、物体表面で

$$\frac{\partial F}{\partial T} + \frac{\partial \Phi}{\partial X} \frac{\partial F}{\partial X} + \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \frac{\partial F}{\partial Y} + \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \frac{\partial F}{\partial Z} = 0 \quad (1.1.5)$$

ただし、 $\partial/\partial T$ は X, Y, Z を一定にして時間微分を行なうことを意味する。変数変換すれば

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x'} + \frac{\partial x'}{\partial T} \frac{\partial f}{\partial x'} \right) + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y'} + \frac{\partial y}{\partial T} \frac{\partial f}{\partial y'} \right) + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z'} + \frac{\partial z}{\partial T} \frac{\partial f}{\partial z'} \right) = 0 \quad (1.1.6)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{x}'}{\partial T} &= \nabla \mathbf{x}' = -\mathbf{V} - \mathbf{x}'_G + \dot{\psi} (\mathbf{y} - \mathbf{y}_G) - \dot{\phi} \mathbf{y}_G - \dot{\theta} (\mathbf{z} - \mathbf{z}_G - \mathbf{h}_G) + \theta \dot{\mathbf{z}}_G \\ \frac{\partial \mathbf{y}'}{\partial T} &= \nabla \mathbf{y}' = -\dot{\psi} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_G) + \phi \mathbf{V} + \dot{\phi} \mathbf{x}_G - \dot{\mathbf{y}}_G + \dot{\varphi} (\mathbf{z} - \mathbf{z}_G - \mathbf{h}_G) - \dot{\varphi} \mathbf{z}_G \\ \frac{\partial \mathbf{z}'}{\partial T} &= \nabla \mathbf{z}' = \dot{\theta} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_G) - \mathbf{V} \theta + \theta \dot{\mathbf{x}}_G - \dot{\varphi} (\mathbf{y} - \mathbf{y}_G) + \dot{\varphi} \mathbf{y}_G - \dot{\mathbf{z}}_G \end{aligned} \right\} \quad (1.1.7)$$

ここで、Incident waveの速度ポテンシャルを ϕ_w として

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_w \quad (1.1.8)$$

と置く。ただし、 ϕ_1 は船体のPitch、Heaveによる排水量の変化を表わし、 ϕ_2 は上下動、 ϕ_3 は左右動による速度ポテンシャルを表わす。ただし、 ϕ_2 には、横揺による横方向速度成分によるものを含んでいる。

$$f(x', y', z') = y' - y_S(x', z') \quad (1.1.9)$$

$$= z' - z_S(x', y') = 0 \quad (1.1.9')$$

とし、

$$- \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x'} + \frac{\partial \phi_w}{\partial x'} + \frac{\partial \mathbf{x}'}{\partial T} \right) \frac{\partial y_S}{\partial x'} + \frac{\partial \phi_1}{\partial y'} - \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial z'} \right) \frac{\partial y_S}{\partial z'} = 0 \quad (1.1.10)$$

$$- \left(\frac{\partial \phi_2}{\partial x'} \right) \frac{\partial y_S}{\partial x'} + \frac{\partial \phi_2}{\partial y'} + \varphi' (\mathbf{z}' - \mathbf{z}_G - \mathbf{h}_G) - \left(\frac{\partial \phi_2}{\partial z'} + \frac{\partial \phi_w}{\partial z'} + \frac{\partial \mathbf{z}'}{\partial T} \right) \frac{\partial y_S}{\partial z'} = 0 \quad (1.1.11)$$

$$- \left(\frac{\partial \phi_3}{\partial x'} \right) \frac{\partial z_S}{\partial x'} - \left(\frac{\partial \phi_2}{\partial y'} + \frac{\partial \phi_w}{\partial y'} + \frac{\partial \mathbf{y}'}{\partial T} \right) \frac{\partial z_S}{\partial y'} - \dot{\varphi} (\mathbf{y} - \mathbf{y}_G) + \left(\frac{\partial \phi_3}{\partial z'} \right) = 0 \quad (1.1.12)$$

のよう ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 に関する線型方程式に分解する。

このとき、 $y_S = O(\beta)$ 、 $z_S = O(\beta)$ と考え、船体運動およびIncident wave Z_w の振幅は $O(\epsilon)$ と考えて、 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 の $O(\epsilon \beta)$ のものを考える。(1.1.10), (1.1.11), (1.1.12)式より、線型化の結果は

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial y} = -V \frac{\partial^2 y_S}{\partial x \partial z} \times (\theta x - z_G + z_w) \quad (1.1.13)$$

$$\frac{\partial \phi_2}{\partial y} = \left(\frac{\partial \phi_w}{\partial z} + \dot{\theta} x - V \theta - \dot{z}_G \right) \frac{\partial y_S}{\partial z} - \dot{\varphi} (z - h_G) \quad (1.1.14)$$

$$\frac{\partial \phi_3}{\partial z} = \left(\frac{\partial \phi_w}{\partial y} - \dot{\psi} x + \phi V - \dot{y}_G \right) \frac{\partial z_S}{\partial y} + \dot{\varphi} y \quad (1.1.15)$$

(1.1.13), (1.1.14), (1.1.15)より、境界条件を満足する速度ポテンシャルは、適当な特異点を分布させれば得られる。この特異点分布を孤立点に集中させるために、その和を求める。

$$\int_{-T}^0 \frac{\partial \phi_1}{\partial y} dz = -V \frac{\partial b}{\partial x} (\theta x - z_G + z_w) \quad \therefore \quad (1.1.16)$$

$$\int_{-T}^b \frac{\partial \phi_2}{\partial y} dz = \left(\frac{\partial \phi_w}{\partial z} + \dot{\theta} x - V \theta - \dot{z}_G \right) b - \dot{\varphi} (h_G T - \frac{T^2}{2}) \quad (1.1.17)$$

$$\int_0^b \frac{\partial \phi_3}{\partial z} dy = (\frac{\partial \phi_w}{\partial y} + \dot{\psi} V + \dot{\theta} x - \dot{y}_G) (-T) + \frac{1}{2} \dot{\psi} b^2 \quad (1.1.18)$$

(1.1.16), (1.1.17), (1.1.18) 式より船体中心面上に

$$\sigma = \frac{1}{2\pi} (\frac{\partial \phi_w}{\partial z} + \dot{\theta} x - Z_G^* + V \frac{\partial Z_w}{\partial x}) b \quad (1.1.19)$$

の強さを持つ Source と

$$m = \frac{1}{2\pi} C_3 T (\frac{\partial \phi_w}{\partial y} + \psi V - \dot{\psi} x - \dot{y}_G) (-T) \\ + \frac{1}{2\pi} C_3 T \dot{\psi} (\frac{1}{2} b^2 - h_G T + \frac{1}{2} T^2) + \frac{1}{2\pi} V b (\theta x - Z_G + Z_w) \quad (1.1.20)$$

の強さの Doublet を置いてやればよい。ただし b は船体断面の半幅、 T は吃水を表わし、 C_3 は文献(1)P 25による。

(3) H関数の計算

抵抗増加の計算に必要なH関数は

$$H(\kappa, \alpha, t) = \int_S \bar{\sigma}(x, y, z; t) \exp\{\kappa z + i\kappa(x \cos \alpha + y \sin \alpha)\} ds(x, y, z) \quad (1.1.21)$$

で与えられる。ここに、 S は船体表面を表わし、 $\bar{\sigma}$ は船体表面上に分布させる特異点の強さを表わす。この特異点分布を船体中心面上に集中させると、船長方向に線状分布する孤立持異点の分布で表わすことができる。その結果、 $\bar{\sigma}$ は

$$\sigma = \frac{1}{2\pi} b \left[\dot{\theta} x - \dot{z}_G + \zeta_a (\omega + kV \cos \chi) \exp\{-kf\sigma + ikx \cos \chi + (kV \cos \chi + \omega) t\} \right] \quad (1.1.22)$$

なる吹出しと

$$m = \frac{-1}{2\pi} C_3 T^2 \left[\psi V - \dot{\psi} x - \dot{y}_G + i\zeta_a \omega \sin \chi \exp\{-kf_m + i(kx \cos \chi + (kV \cos \chi + \omega) t)\} \right] \\ + \frac{1}{2\pi} C_3 T \dot{\psi} (\frac{1}{2} b^2 - h_G b - h_G T + \frac{1}{2} T^2) \\ + \frac{1}{2\pi} b V \left[\theta x - Z_G - i\zeta_a \exp\{-kf_m + i(kx \cos \chi + (kV \cos \chi + \omega) t)\} \right] \quad (1.1.23)$$

なる強さの y 軸方向に軸をもつた二重吹出しをわけばよい。ただし、 f は特異点の位置を表わす。

ここで、抵抗増加に及ぼす Surge の影響は小さいとして、船体運動を次のように表わす。

$$\left. \begin{array}{l} \text{Heave} \quad Z_G = -i Z_0 e^{i(\omega t + \epsilon_z)} \\ \text{Pitch} \quad \theta = -i \theta_0 e^{i(\omega t + \epsilon_\theta)} \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{ll}
 \text{Sway} & y_G = -i y_0 e^{i(\omega t + \epsilon_y)} \\
 \text{Yaw} & \phi = -i \phi_0 e^{i(\omega t + \epsilon_\phi)} \\
 \text{Roll} & \varphi = -i \varphi_0 e^{i(\omega t + \epsilon_\varphi)}
 \end{array} \right\} \quad (1.1.2.4)$$

その結果 H 関数は

$$\begin{aligned}
 H(\kappa, \alpha) = & \frac{1}{2\pi} \int_L (\omega e + \kappa \cos \alpha V) \left\{ x \theta_0 e^{i \epsilon \theta} - z_0 e^{i \epsilon z} \right. \\
 & \left. + \zeta_a \exp(-kf + ikx \cos \chi) \right\} b \exp(-\kappa f + i \kappa \cos \alpha \cdot x) dx \\
 & - \frac{1}{2\pi} \int_L C_3 T^2 \kappa \cos \alpha \left\{ V \psi_0 e^{i \epsilon \phi} - i \omega \exp \psi_0 e^{i \epsilon \phi} - i \omega e y_0 e^{i \epsilon y} \right. \\
 & \left. - \zeta_a \omega \exp(-kf + ikx \cos \chi) \right\} \exp(-\kappa f + i \kappa \cos \alpha \cdot x) dx \\
 & + \frac{i}{2\pi} \omega e \int_L C_3 T \kappa \sin \alpha \varphi_0 e^{i \epsilon \varphi} \left(\frac{1}{2} b^2 - h_G T + \frac{1}{2} T^2 \right) \\
 & \cdot \exp(-\kappa f + i \kappa \cos \alpha \cdot x) \quad (1.1.2.5)
 \end{aligned}$$

(1.1.2.5) 式において、 $\chi = 0^\circ$ とおけば、正面規則波中における高木の式²⁾と一致する。

$$\kappa \cos \alpha = m$$

と変数変換し、正面規則波中の場合と同様に、特異点の強さ、位置および位相に対する修正係数を用い、丸尾の方法^{2), 3)} 従つて H 関数を表わすと、

$$\begin{aligned}
 H(m) = & \frac{1}{2\pi} \int_L A_Z (\omega e + mV) \left\{ x \theta_0 e^{i(\epsilon \theta + \delta_z)} - z_0 e^{i(\epsilon z + \delta_z)} \right. \\
 & \left. + \zeta_a \exp(-\mu_z kf + i(kx \cos \chi + \delta_z)) \right\} b \exp(-\mu_z f \frac{(m + \kappa_0 Q)^2}{\kappa_0} + imx) dx \\
 & - \frac{1}{2\pi} \kappa_0 \sqrt{\left(Q + \frac{m}{\kappa_0}\right)^4 - \left(\frac{m}{\kappa_0}\right)^2} \int_L C_3 A_y T^2 \left\{ V \psi_0 e^{i(\epsilon \phi + \delta_y)} - i \omega \exp \psi_0 e^{i(\epsilon \phi + \delta_y)} \right. \\
 & \left. - i \omega e y_0 e^{i(\epsilon y + \delta_y)} - \zeta_a \omega \exp[-\mu_y kf + i(kx \cos \chi + \delta_y)] \right\} \exp(-\mu_y f \frac{(m + \kappa_0 Q)^2}{\kappa_0} + imx) dx \\
 & + \frac{i}{2\pi} \omega e \kappa_0 \sqrt{\left(Q + \frac{m}{\kappa_0}\right)^4 - \left(\frac{m}{\kappa_0}\right)^2} \int_L C_3 A \psi T \psi_0 e^{i(\epsilon \varphi + \delta_\varphi)} \left(\frac{1}{2} b^2 - h_G T + \frac{1}{2} T^2 \right) \\
 & \times \exp(-\mu_\varphi f \frac{(m + \kappa_0 Q)^2}{\kappa_0} + imx) \quad (1.1.2.6)
 \end{aligned}$$

となる。ここで、

A_Z, μ_Z, δ_Z : 上下動に対する振幅、位置、位相修正

A_y, μ_y, δ_y : 左右動に対する振幅、位置、位相修正

$A_\varphi, \mu_\varphi, \delta_\varphi$: 横揺れに対する振幅、位置、位相修正

T : 船体断面の吃水

b : 船体断面の半幅

$$h_G = \frac{b}{2}$$

$$\kappa_0 = g / V^2$$

$$\Omega = \omega e V / g$$

$f = r \cdot T$: 船体断面の平均吃水

(1.1.26) 式中の修正係数は、(1.1.23) あるいは(1.1.24) が ωe が小さいとの仮定のもとに求められているので導入されたもので、船体中心面上に分布する特異点の強さ、位置、位相によつて決まる。この修正係数のうち、縦運動に関するものは前年度報告書に述べられており、左右揺、横揺の場合にも同様の修正係数を用いると計算上都合がよい。横運動の場合、船体表面の境界条件は、船体中心面上の Doublet 分布で表わせる。この Doublet の分布の強さと位相を境界条件を満足するよう決めてやればよい。すなわち、流線関数を (o, T) の点で満足するよう Doublet の強さ、位相を求める。さらに、この Doublet によつて起る進行波の振幅 $e e \bar{A}_y$ が、田村の方法によつて得られる厳密値 \bar{A}_y^* と合うように位置を決定する。左右揺の場合、Doublet の強さを

$$m = m_t e^{i \delta_y} = m_c + i m_s \quad (1.1.27)$$

単位強さの Doublet に対する流線関数を

$$\psi = S_c + i S_s$$

Doublet を (o, f_y) に置くことすれば

$$\left. \begin{aligned} m_c(o, f_y) &= \frac{T \cdot S_c(o, T; o, f_y) \cdot \omega Y}{S_c^2(o, T; o, f_g) + S_s^2(o, T; o, f_g)} \\ m_s(o, f_y) &= \frac{-T \cdot S_s(o, T; o, f_y) \cdot \omega Y}{S_c^2(o, T; o, f_y) + S_s^2(o, T; o, f_y)} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.28)$$

$$f_y = \frac{1}{K} \log \frac{2\pi |m_t| K \xi d}{\bar{A}_y^*} \quad (1.1.29)$$

(1.1.28), (1.1.29) 式を解いて、 m_c, m_s, f_y を求める修正係数は

$$A_y = m_t / \frac{\pi}{2} C_3 T^2 \quad (1.1.30)$$

$$\mu_y = f_y / r T \quad (1.1.31)$$

$$\delta_y = \tan^{-1} (m_s / m_c) \quad (1.1.32)$$

となる。

横搖に關しても、左右搖の場合と同様に孤立特異点法によつて Doublet の強さ、位相、位置を決定することができる。

(4) 抵抗增加の計算式

(1.1.2.6) 式の H 関数を用いて、抵抗增加計算式は、

$$R_{AW}(\chi) = 2\pi \varphi \left[- \int_{-\infty}^{k'} + \int_{k'}^{\infty} \right] \frac{(m + \kappa_0 \Omega)^2 (m + \kappa_0 \cos \chi)}{\sqrt{(m + \kappa_0 \Omega)^4 - \kappa_0^2 m^2}} |H(m)|^2 dm \quad (1.1.3.3)$$

で与えられる。(1.1.3.3) 式を無次元化すると

$$\begin{aligned} \kappa_{AW}(\chi) &= R_{AW}(\chi) / \rho g \zeta_w^2 (\beta^2 / L) \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[\int \right] \frac{(2F_n m' + \omega_L)^2 (m' + \frac{\pi}{P} \cos \chi)}{\sqrt{(2F_n m' + \omega_L)^4 - 4m'^2}} |H(m')|^2 dm' \end{aligned} \quad (1.1.3.4)$$

ただし、 $P = \lambda / L$ 、 $\omega_L = \sqrt{\frac{2\pi}{P}} (1 + F_n \sqrt{\frac{2\pi}{P}} \cos \chi)$ である。

(1.1.3.4) 式を、船体運動のModeに応じて分解すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \kappa_{AW}(\chi) &= D_{HH}(\chi) Z_o^2(\chi) + D_{PP}(\chi) \theta_o^2(\chi) + D_s(\chi) \\ &\quad + D_{HC}(\chi) Z_o(\chi) \cos \epsilon_z(\chi) + D_{HS}(\chi) Z_o(\chi) \sin \epsilon_z(\chi) \\ &\quad + D_{PC}(\chi) \theta_o(\chi) \cos \epsilon_o(\chi) + D_{PS}(\chi) \theta_o(\chi) \sin \epsilon_\theta(\chi) \\ &\quad + D_{HPc}(\chi) Z_o(\chi) \theta_o(\chi) \cos \epsilon_{\theta_Z}(\chi) + D_{HPS}(\chi) Z_o(\chi) \theta_o(\chi) \sin \epsilon_{\theta_Z}(\chi) \\ &\quad + D_{YY}(\chi) \cdot \psi_o^2(\chi) + D_{SS}(\chi) \cdot y_o^2(\chi) + D_{RR}(\chi) \cdot \varphi_o^2(\chi) + D_A(\chi) \\ &\quad + D_{YC}(\chi) \psi_o(\chi) \cos \epsilon_\psi(\chi) + D_{YS}(\chi) \psi_o(\chi) \sin \epsilon_\psi(\chi) \\ &\quad + D_{SC}(\chi) \cos \epsilon_y(\chi) + D_{SS}(\chi) y_o(\chi) \sin \epsilon_y(\chi) \\ &\quad + D_{RC}(\chi) \varphi_o(\chi) \cos \epsilon_\varphi(\chi) + D_{RS}(\chi) \varphi_o(\chi) \sin \epsilon_\varphi(\chi) \\ &\quad + D_{YSC}(\chi) \psi_o(\chi) y_o(\chi) \cos \epsilon_{\psi y}(\chi) + D_{YSS}(\chi) \psi_o(\chi) y_o(\chi) \sin \epsilon_{\psi y}(\chi) \\ &\quad + D_{YRC}(\chi) \psi_o(\chi) \cos \epsilon_{\psi \varphi}(\chi) + D_{YRS}(\chi) \psi_o(\chi) \varphi_o(\chi) \sin \epsilon_{\psi \varphi}(\chi) \\ &\quad + D_{SRC}(\chi) y_o(\chi) \varphi_o(\chi) \cos \epsilon_{y \varphi}(\chi) + D_{SRS}(\chi) y_o(\chi) \varphi_o(\chi) \sin \epsilon_{y \varphi}(\chi) \end{aligned} \quad (1.1.3.5)$$

1.1.2 不規則波中の抵抗増加

規則波中抵抗増加の応答関数を用いて、長波頂不規則波中および短波頂不規則波中における抵抗増加の短期分布を求める。

(1) 計算式

船体応答の短期分布は、線型重畠法によつて求めることができる。抵抗増加の短期分布については、規則波中の抵抗増加の応答関数を用いて、長波頂不規則波中においては、

$$\overline{R_{AW}}(\chi) = 2 \int_0^\infty R_{AW}(\chi) S(\omega) d\omega \quad (1.1.3.6)$$

ただし、 $\overline{R_{AW}}(\chi)$ は、波との Heading angle χ における平均抵抗増加、 $R_{AW}(\chi)$ は、規則波中における抵抗増加を $(\text{波高})^2$ で除した応答関数である。波スペクトル $S(\omega)$ は、I.S.S.C. の提案による。

$$S(\omega) = 0.11 H_{1/3}^2 \omega_1^{-1} (\omega/\omega_1)^{-3} \exp[-0.44 (\omega/\omega_1)^{-4}] \quad (1.1.3.7)$$

で与えられる。ただし、 $\omega_1 = 2\pi/T_w$ 、 $H_{1/3}$ は有義波高、 T_w は平均波周期である。

一方、短波頂不規則波中における抵抗増加は、

$$\overline{R_{AW}}(\chi) = 2 \int_0^\infty d\omega \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} R_{AW}(\chi) S(\omega, \theta) d\theta \quad (1.1.3.8)$$

ただし、 χ は卓越波と船体の Heading angle 、 $S(\omega, \theta)$ は、短波頂海面を表わす 2 次元波スペクトルである。 θ は、卓越波と成分波のなす角度である。

(2) 計算状態

1.1.1 に計算法を示した斜波中抵抗増加の理論計算が完全にはできていないので、正面長波頂不規則波中における抵抗増加の短期分布を求めた。計算状態を Table 1.1.1 に示す。

(3) 計算結果

単位波高に対する抵抗増加の平均値 $\overline{R_{AW}} / (H_{1/3})^2$ を Fig. 1.1.2 に示す。

Table 1.1.1 計 算 状 態

船速 (F n)	0.2, 0.3
平均波周期 T_w (sec)	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18

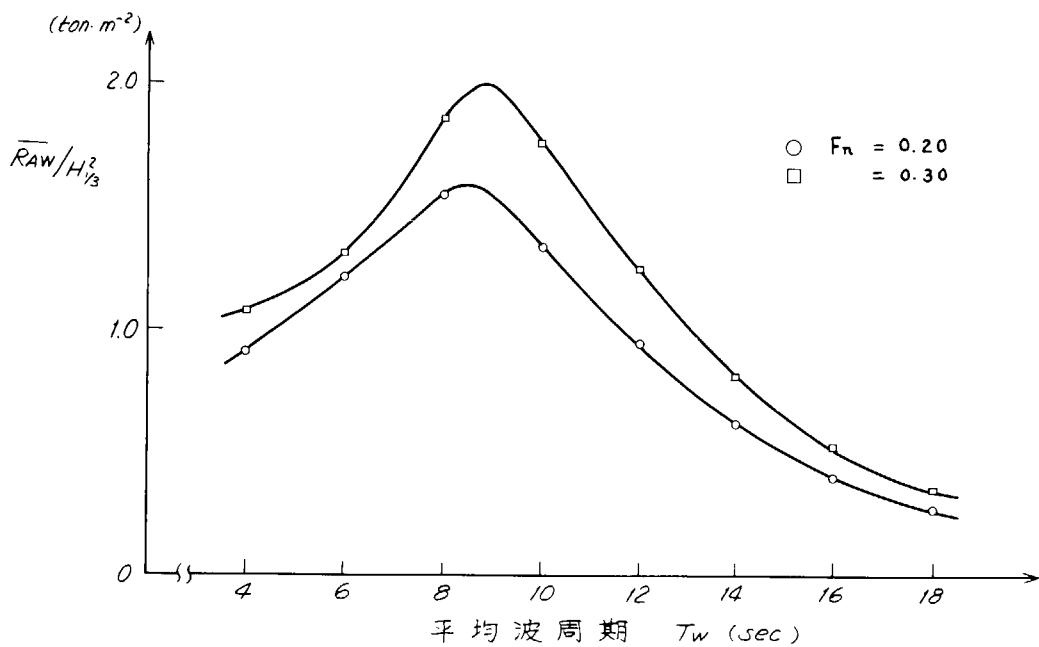


Fig. 1.1.2 Resistance increase in irregular Head waves

1.2 船首部の海水打込み

船首部の海水打込みについては、S.S.9^{1/2}を代表として選び、Table 1.2.1に示すような有義波高 $H_{1/3}$ 、平均波周期 T_w を持つI.S.S.C.スペクトラム中での計算を行なつた。

Table 1.2.1

Beaufort	6	7	8	9	10
$H_{1/3}$ (m)	3.9	5.3	7.1	9.2	11.5
T_w (sec)	7.6	8.9	10.3	11.7	13.1

福田⁴⁾によれば、斜め不規則波中を航行する船への海水打込み確率 q は、斜め不規則波中の船体と波面との相対変位の標準偏差 R_r と静水中航走時の有効乾舷 f_e とから次式によつて求めることができる。

$$q = e \times p \left(-\frac{f_e^2}{2 R_r^2} \right) \quad (1.2.1)$$

S.R.108, $L/B = 6.89$ 、低船首樓型船⁵⁾の場合、模型実験で求めたS.S.9^{1/2}の有効乾舷 f_e は Table 1.2.2 のようである。

Table 1.2.2

F_n	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
f_e (m)	11.11	11.06	11.01	10.93	10.85	9.75	8.76

S.S.9^{1/2}のCenter line と Shell side の相対変位の標準偏差 R_r を Fig. 1.2.1 と Fig. 1.2.2 に示す。

Shell side の場合、Weather side と Lee side で R_r の値が異なるので、海水打込み確率 q を求める (1.2.1) 式の R_r としては、波の主方向と船との出会い角 χ ごとに、大きい方の R_r を用いた。

Fig. 1.2.3～Fig. 1.2.5 は、Beaufort 8 のときの海水打込み確率である。Swell-up を考慮しないと、正面波のときにもつとも打込み確率が大きくなるが、Swell-up を考慮すると全体に打込み確率が高くなることのほかに、 $\chi = 150^\circ$ 近くでもつとも打込みやすくなるという結果になる。

Fig. 1.2.6 と Fig. 1.2.7 は、それぞれ Beaufort 7 と Beaufort 9 の場合の海水打込み確率である。Beaufort 8 の場合と比べると、海象の変化によって、打込み確率の変化する様子がよくわかる。

以上は、ある海象の中を一定船速を保ちながら航走した場合であるが、実船では、荒天時には危険回避のために船速を下げるなどの操船を行なうこともある。たとえば、F.P. の上下加速度の有義両振幅が $0.8 g$ を越えないように船速を下げた場合の海水打込み確立を Fig. 1.2.8 に示す。

同図には、 $F_n = 0.25$ を一定に保つた場合についても示しているが、それと比較して、 $\chi = 180^\circ, 150^\circ$ では海水打込み確率が大きく下っている。これは、 $\chi = 180^\circ, 150^\circ$ では、上下加速度の有義両振幅が $0.8 g$ を越えないように、それぞれ $F_n = 0.18, 0.20$ まで減速しているためで、その場合、相対変位が多少下ることのほかに、田才⁶⁾等によつて指摘されているように、船速を下げることにより、有効乾舷 f_e の増すことが、打込み確率低下に大きく影響している。

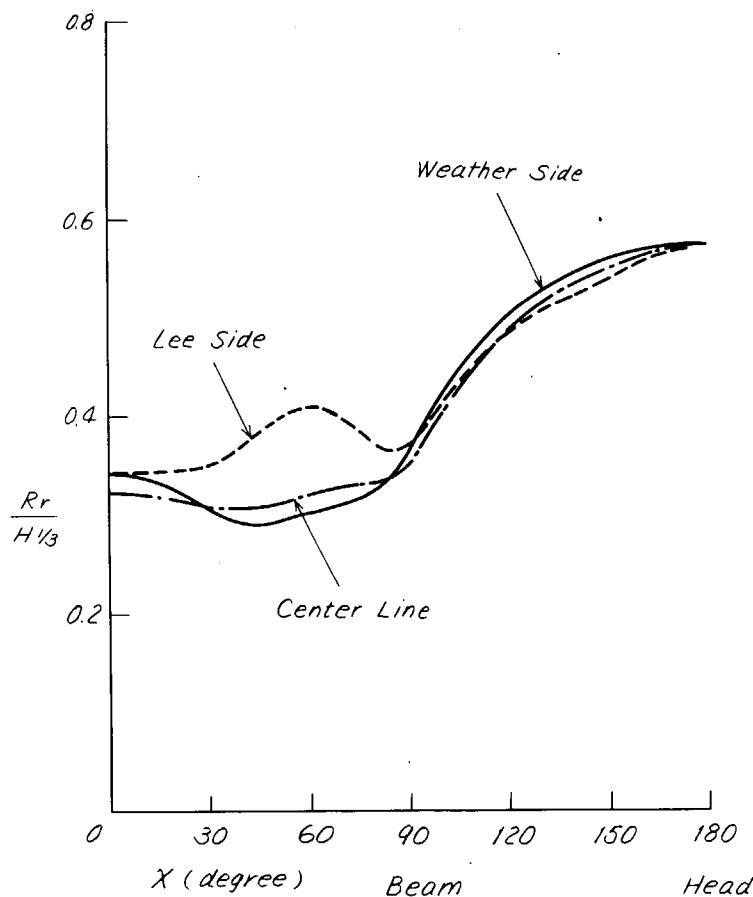


Fig. 1.2.1. Relative Motion at S.S. 9 1/2 Exclude
Dynamic Swell-up, $T_w = 8$ sec (Short
Crested Irregular Waves)

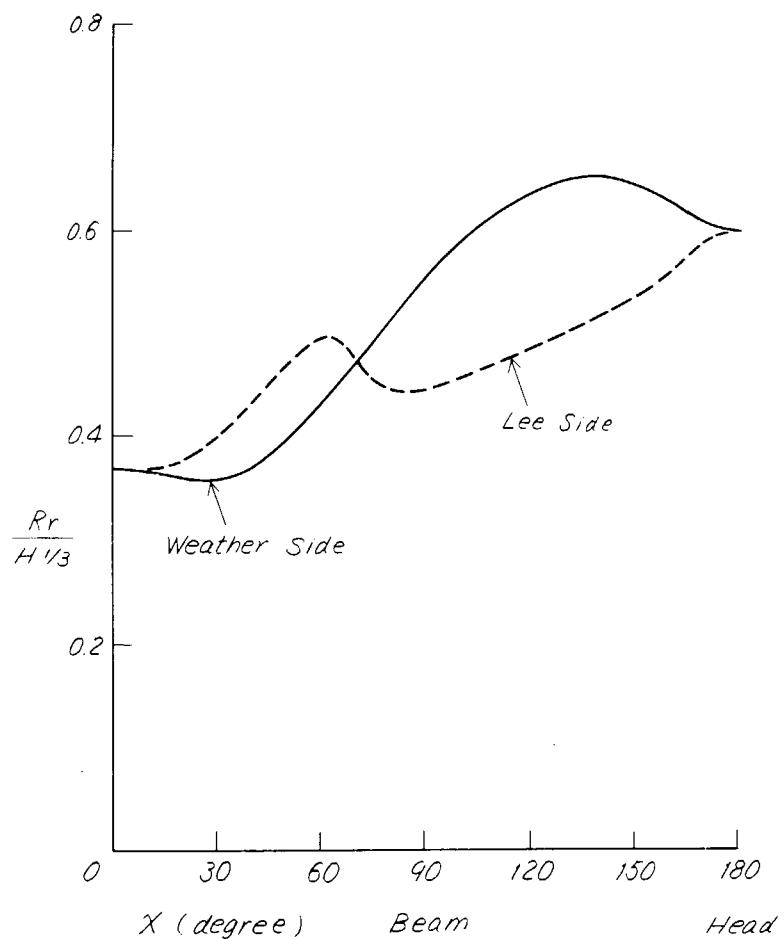


Fig. 1.2.2. RELATIVE MOTION at S.S. 9½ Include
Dynamic Swell-up, $T_w = 8$ sec (Short-
Crested Irregular waves) $F_n = 0.25$ (20.13 kt)

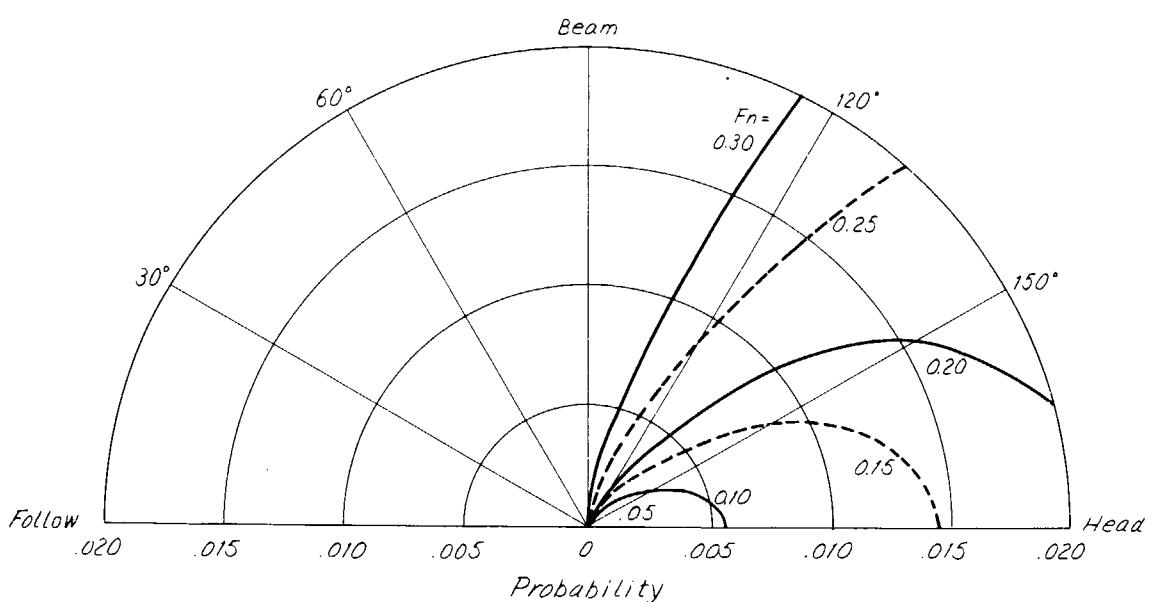


Fig. 1.2.3. DECK WETNESS at S.S. 9½ Center Line
Probability of Deck Wetness. Exclude Dynamic Swell-up
Beaufort 8. Short Crested Irregular Waves.

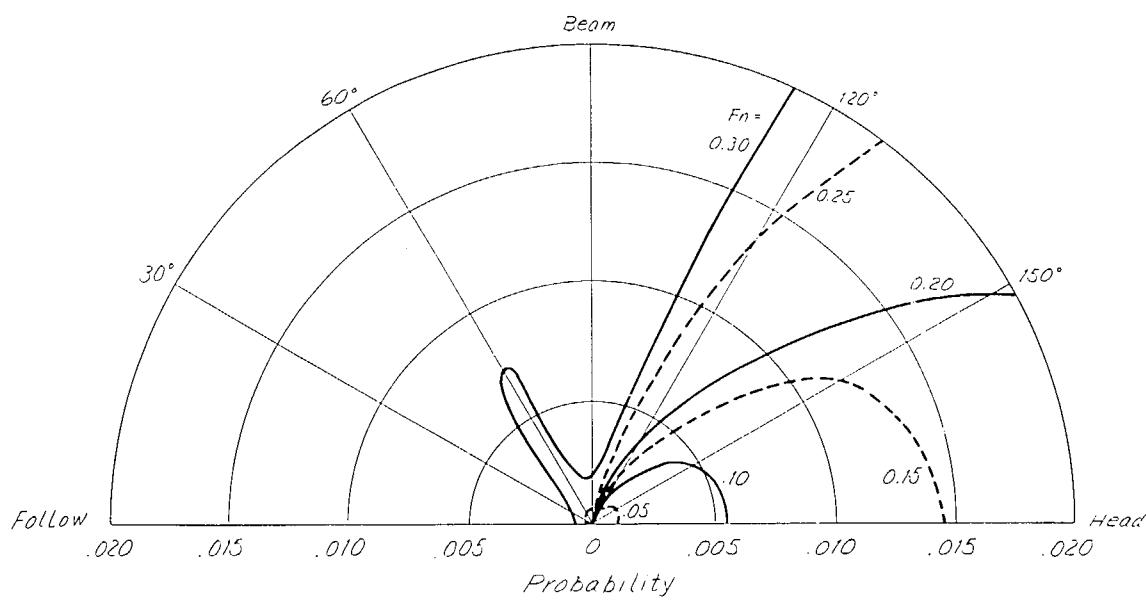


Fig. 1.2.4 Deck Wetness at 5.5 9 1/2 Shell Side
Probability of Deck Wetness, exclude Dynamic Swell-up
Beaufort 8, Short Crested Irregular Waves

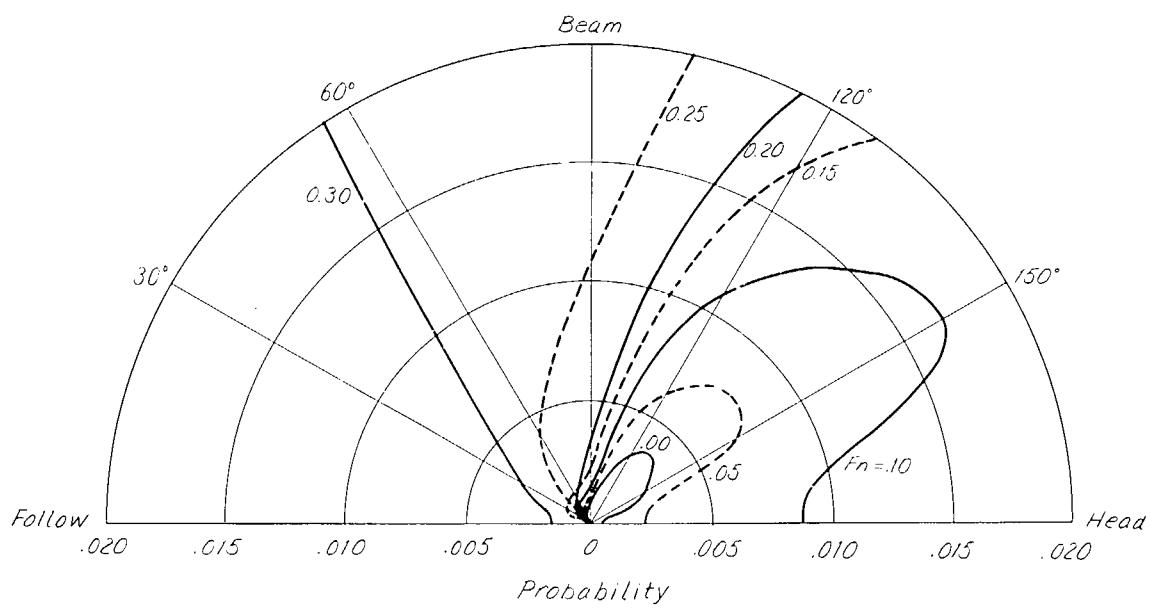


Fig. 1.2.5. Deck Wetness at 5.5 9 1/2 Shell Side
Probability of Deck Wetness, Include Dynamic Swell-up
Beaufort 8. Short - Crested Irregular Waves.

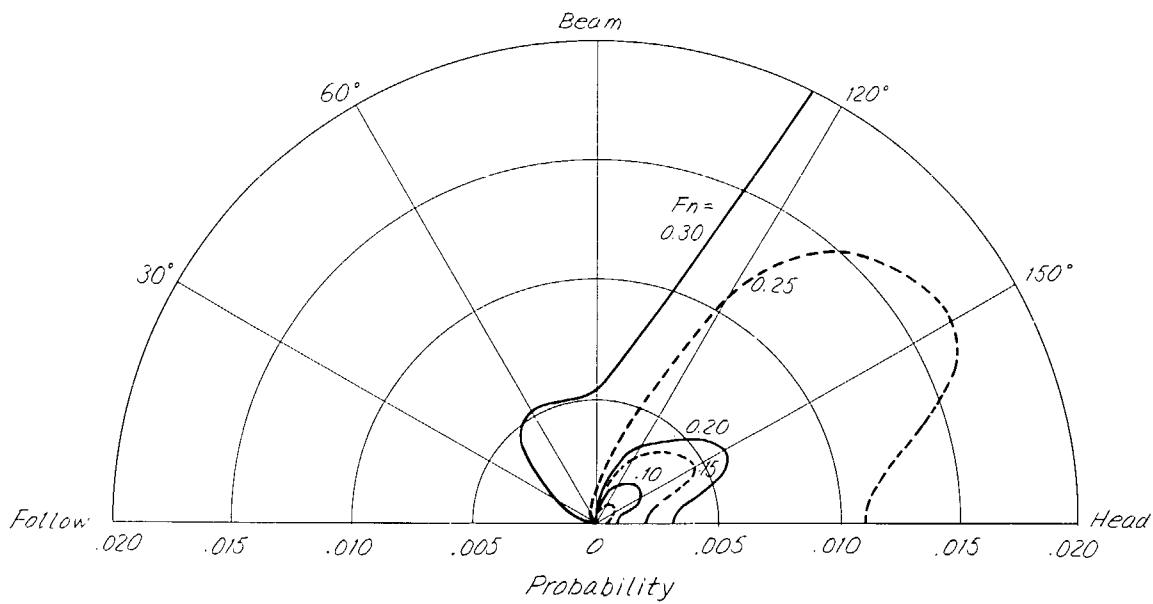


Fig. 1.2.6 Deck Wetness at S.S. 9½. Shell Side
Probability of Deck Wetness. Include Dynamic Swell-up
Beaufort 7. Short-Crested Irregular Waves.

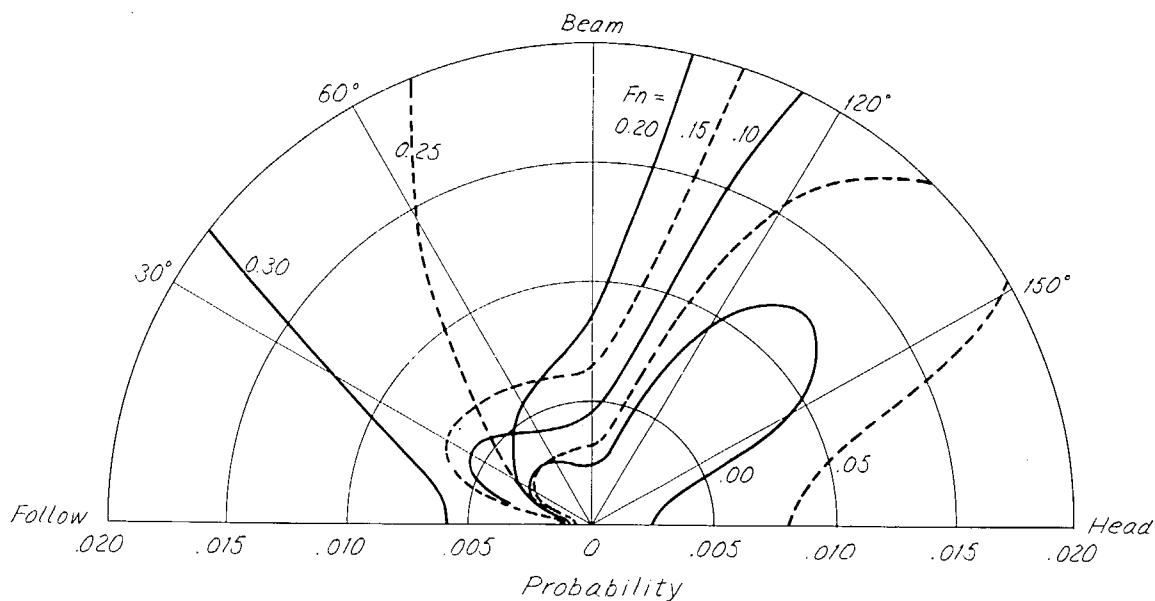


Fig. 1.2.7 Deck Wetness at S.S. 9 1/2. Shell Side
Probability of Deck Wetness. Include Dynamic Swell-up,
Beaufort 9. Short Crested Irregular Waves

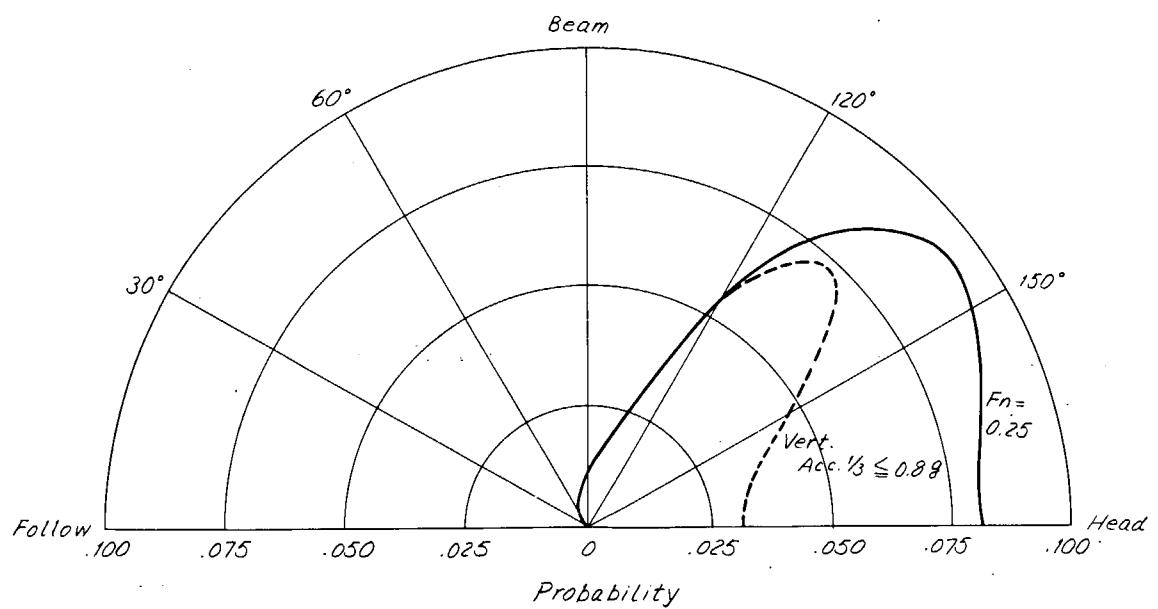


Fig. 1. 2. 8. Deck Wetness at S.S. 9 1/2 Shell Side

Probability of Deck wetness, include Dynamic Swell-up
Beaufort 8, Short-Crested Irregular Waves

2. 耐航性に関する諸要素の長期分布

2.1 動搖・加速度

前年度得られたある短期の不規則海面における船体応答の有義値を用いてそれらの長期分布を福田⁴⁾の方法により計算した。

ここで言う長期分布とは、長期にわたる数多くの航海中に動搖や加速度の振幅がある値を越える確率を示したものである。

2.1.1 計算方法

今、船体応答として縦搖を考へ、それについての計算式を示す。

前年度得られた縦搖の標準偏差 R_θ を用いると、確率変数としての縦搖の振幅が任意の値 θ_1 を越える確率は次式によつて与えられる。

$$Q_{\theta_1} = e \times p \left\{ - \frac{\theta_1^2}{R_\theta^2} \right\} \quad (2.1.1)$$

ここで、

R_θ は平均波周期 T_W および船の波に対する針路 χ の関数として求められている。したがつて、波浪の長期発現確率 $P(H_{1/3}, T_W)$ が与えられれば、船がその海域において常に波に対して一定の針路 χ を保つて航海している場合に、縦搖の振幅がある θ_1 を越える長期の累積確率は次式によつて求められる。

$$Q_{\theta_1}(\chi) = \int_0^\infty \int_0^\infty e \times p \left\{ - \frac{\theta_1^2}{2 R_\theta^2} \right\} P(H_{1/3}, T_W) dH_{1/3} dT_W \quad (2.1.2)$$

さらに、船の波に対する針路 χ の長期の確率密度関数 $P^*(\chi)$ が与えられれば、すべての針路を考慮した場合に縦搖の振幅がある値 θ_1 を越える長期の確率は、

$$Q_{\theta_1} = \int_0^{2\pi} Q_{\theta_1}(\chi) P^*(\chi) d\chi \quad (2.1.3)$$

$P^*(\chi)$ が $0 \sim 2\pi$ の間に一様に分布していると仮定すれば

$$Q_{\theta_1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Q_{\theta_1}(\chi) d\chi \quad (2.1.4)$$

船の波に対する針路が一定の場合には (2.1.2) 式により、また、すべての針路を考慮した場合には (2.1.4) 式を用いて長期の確率が計算できる。

他の船体応答についても同じ計算式により長期分布が求められる。

2.1.2 計算状態

2.1.1 の計算式を用いて Table 2.1.1 のような状態に対し長波頂および短波頂不規則波中の船体応答の長期分布を求めた。

なお、波浪の長期発現確率密度関数 $P(H_{1/3}, T_W)$ としては Table 2.1.2 のものを用いた。これは Wahlen が北大西洋で得た波浪の長期観測資料を福田⁴⁾が整理したものである。

2.1.3 計算結果

計算結果は船体応答の期待値を $\log_{10} Q$ の関数として示している。

ここに、Qは船体応答の振幅がある一定値を越える長期の累積確率である。

(1) 長波頂不規則海面における長期分布

Fig. 2.1.1 上下揺	向 波 ($\chi = 180^\circ$) $F_n = 0, 0.1, 0.2, 0.3$
" 2.1.2 縦 揺	
" 2.1.3 重心位置における上下加速度	
" 2.1.4 F . P . における上下加速度	
Fig. 2.1.5 横 揺	横 波 ($\chi = 90^\circ$) $F_n = 0, 0.1, 0.2, 0.3$
" 2.1.6 重心位置における横加速度	

(2) 短波頂不規則海面における長期分布

船と波の出会い角 χ	船速 F_n	上下揺	縦 揺	重心位置での上下加速度	F . P . での上下加速度
All headings	0, 0.1, 0.2, 0.3	Fig. 2.1.7	Fig. 2.1.11	Fig. 2.1.15	Fig. 2.1.19
向波 ($\chi = 180^\circ$)	"	" 2.1.8	" 2.1.12	" 2.1.16	" 2.1.20
($\chi = 150^\circ$)	"	" 2.1.9	" 2.1.13	" 2.1.17	" 2.1.21
($\chi = 120^\circ$)	"	" 2.1.10	" 2.1.14	" 2.1.18	" 2.1.22

船と波の出会い角 χ	船速 F_n	横 揺	重心位置での横加速度
All headings	0, 0.1, 0.2, 0.3	Fig. 2.1.23	Fig. 2.1.27
追波 ($\chi = 30^\circ$)	"	" 2.1.24	" 2.1.28
($\chi = 60^\circ$)	"	" 2.1.25	" 2.1.29
($\chi = 90^\circ$)	"	" 2.1.26	" 2.1.30

Fig. 2.1.31 は一定の長期累積確率 ($\log_{10} Q = -7$) に対する上下加速度 (重心位置) の期待値を等高線で示し、半径方向に船速 F_n 、偏角として出会い角 χ をとつている。Fig. 2.1.32 は同様に F . P . における上下加速度に対するものである。

これらの計算結果の中で横揺、横加速度については他の動揺、加速度に比べ、高い期待値を与えている。

これは規則波中の応答関数を求める際、線型化した横揺減衰係数を用いたためと思われる。

Table 2.1.1. 計算状態

船体応答 (動搖・加速度)	上下搖、縱搖、橫搖 上下加速度(重心, FP), 橫加速度(重心)
出会角度 X (degree)	0° (追波) ~ 180° (向波), 30° 間隔
船速 F_n	$0 \sim 0.30$ ($V_s = 24.2$ kts) 0.05 間隔

Table 2.1.2. 波浪の長期発現確率密度関数

Wave Height (m)	Wave Period (sec)							Sum over All Periods
	5	7	9	11	13	15	17	
0.75	20.91	11.79	4.57	2.24	0.47	0.06	0.00	0.60
1.75	72.78	131.08	63.08	17.26	2.39	0.33	0.11	0.77
2.75	21.24	126.41	118.31	30.24	3.68	0.47	0.09	0.56
3.75	3.28	49.60	92.69	32.99	5.46	0.68	0.12	0.27
4.75	0.53	16.19	44.36	22.28	4.79	1.14	0.08	0.29
5.75	0.12	4.34	17.30	12.89	3.13	0.56	0.13	0.04
6.75	0.07	2.90	9.90	8.86	3.03	0.59	0.08	0.03
7.75	0.03	1.39	4.47	5.22	1.93	0.38	0.04	0.04
8.75	0.00	1.09	2.55	3.92	1.98	0.50	0.03	0.02
9.75	0.00	0.54	1.36	2.26	1.54	0.68	0.20	0.04
10.75	0.01	0.01	0.10	0.11	0.10	0.05	0.02	0.00
11.75	0.00	0.00	0.03	0.08	0.17	0.06		0.34
12.75		0.05	0.00	0.14	0.22	0.06	0.01	
13.75		0.02		0.07	0.09	0.03		0.22
14.75				0.02	0.06	0.02	0.00	0.11
15.75	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.08
Sum over All Heights	118.97	345.43	358.72	138.59	29.05	5.63	0.92	2.69
								1000.00

Long-term Distribution of Heave and Pitch in Long-crested Irregular Seas

$\chi = 180^\circ$

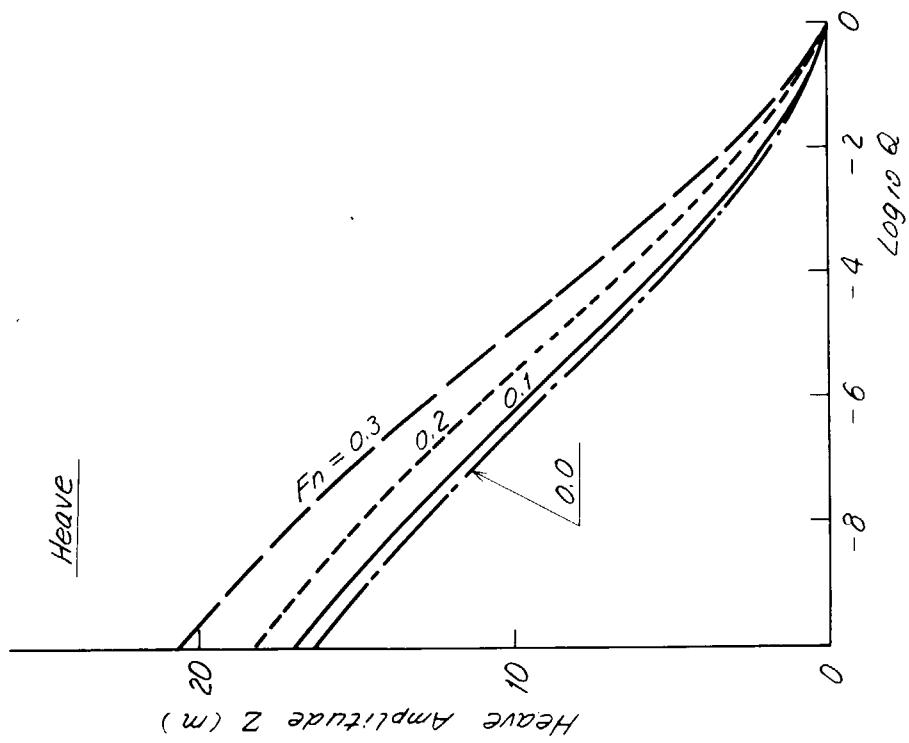


Fig. 2.1.1.

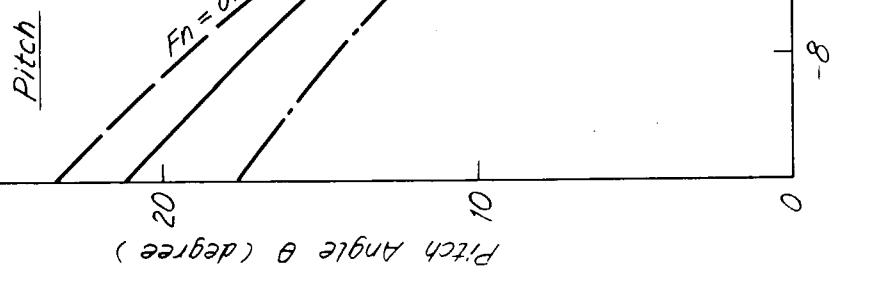
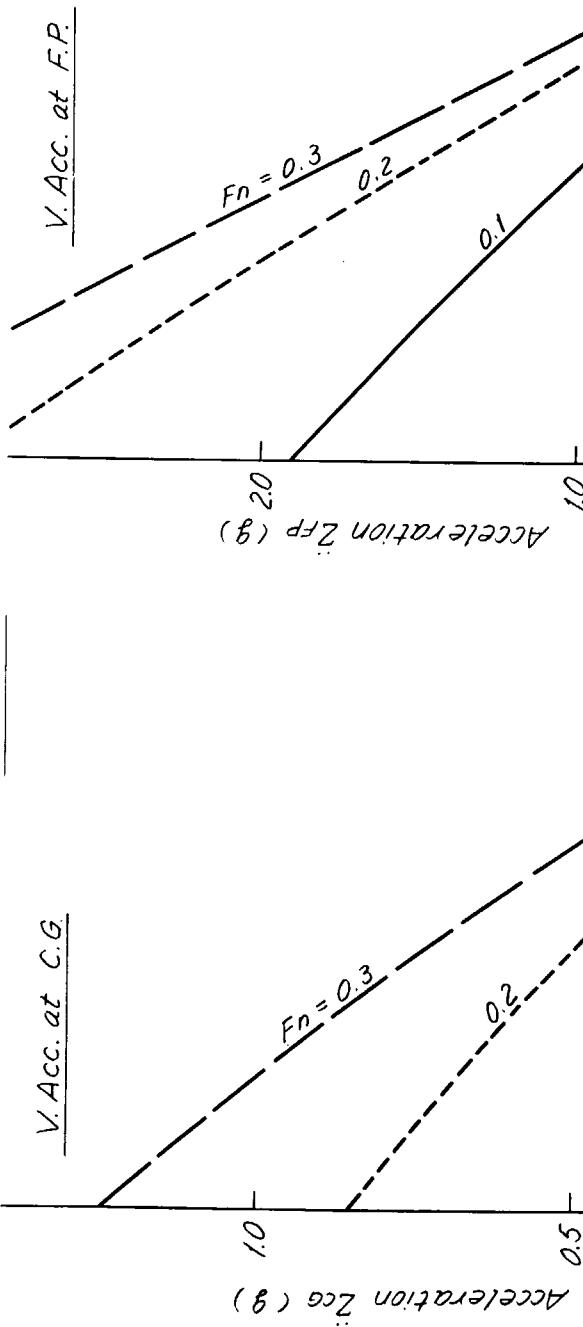


Fig. 2.1.2.

Long-term Distribution of Vertical Acceleration in Long-crested Irregular Seas

$\chi = 180^\circ$



V. Acc. at F.P.

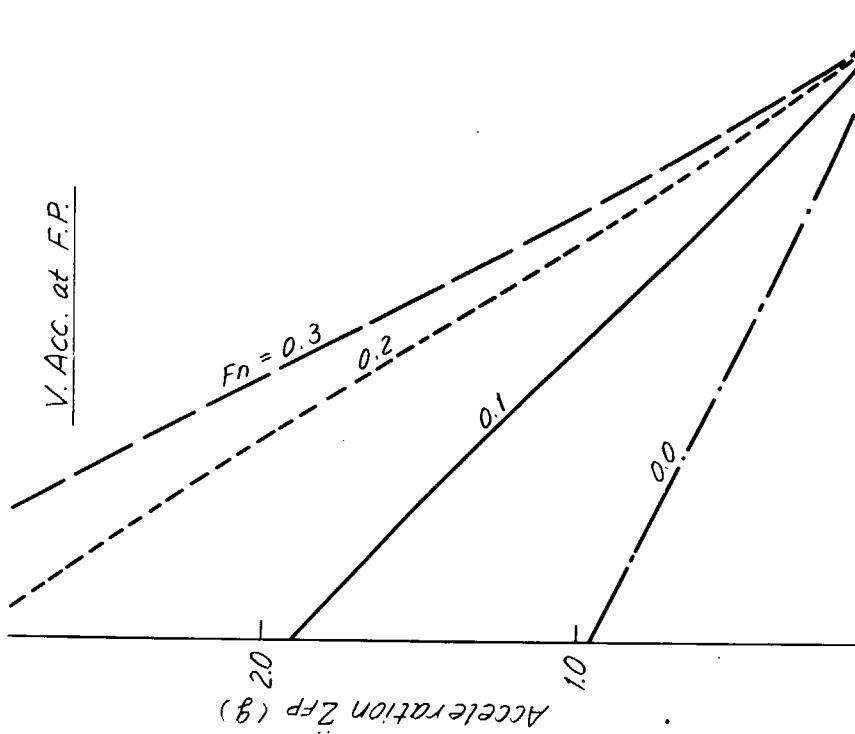


Fig. 2.1.4.

Fig. 2.1.3.

Long-term Distribution of Roll and L.Acc. in Long-crested Irregular Seas

$\chi = 90^\circ$

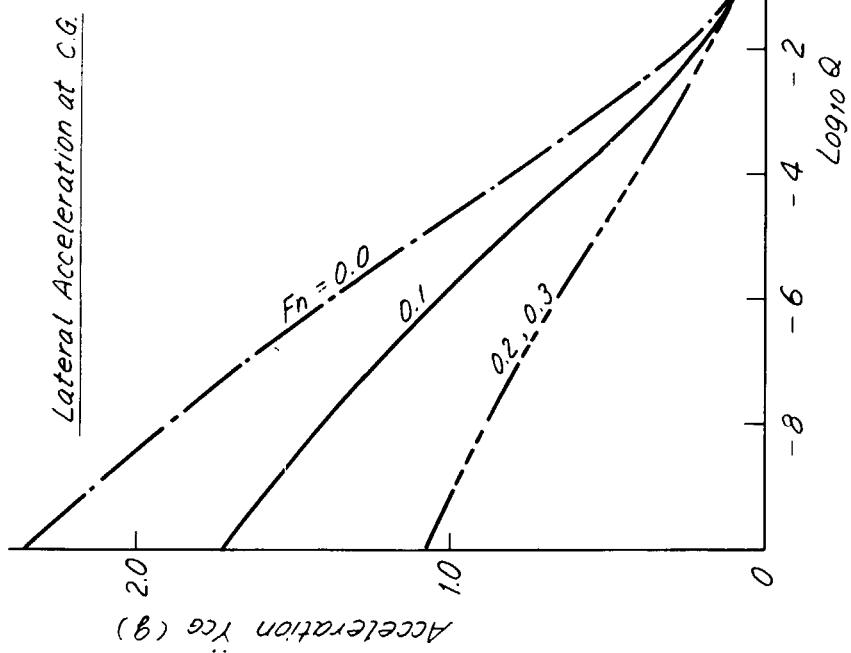
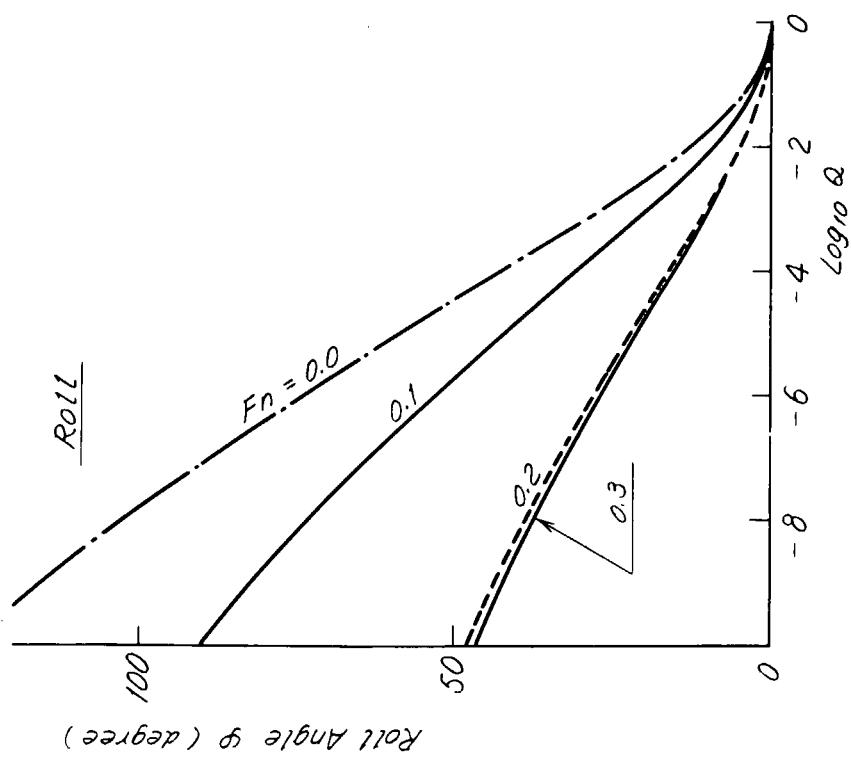
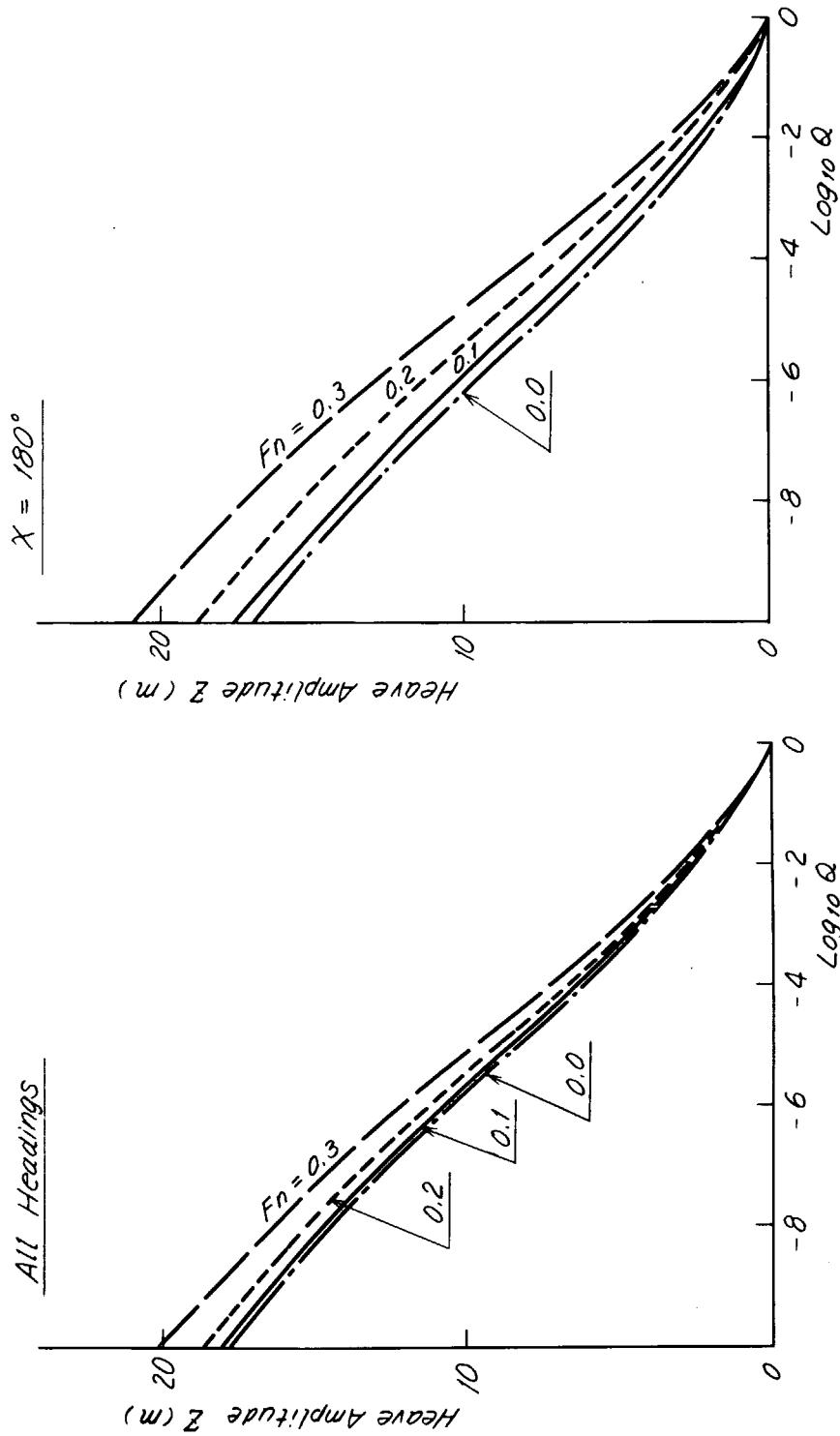


Fig. 2.1.5

Fig. 2.1.6

Long-term Distribution of Heave in Short-crested Irregular Seas

All Headings



$\chi = 180^\circ$

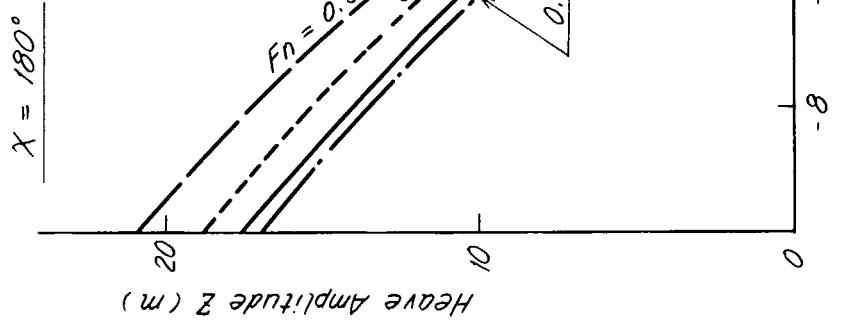
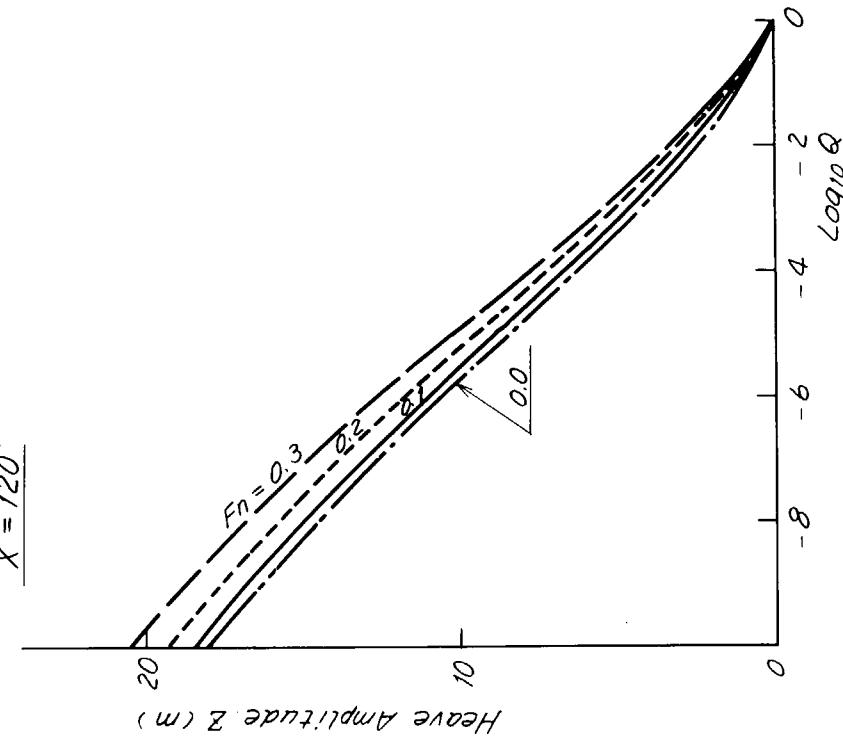


Fig. 2.1.7.

Fig. 2.1.8.

Long-term Distribution of Heave in Short-crested Irregular Seas

$\chi = 120^\circ$



$\chi = 150^\circ$

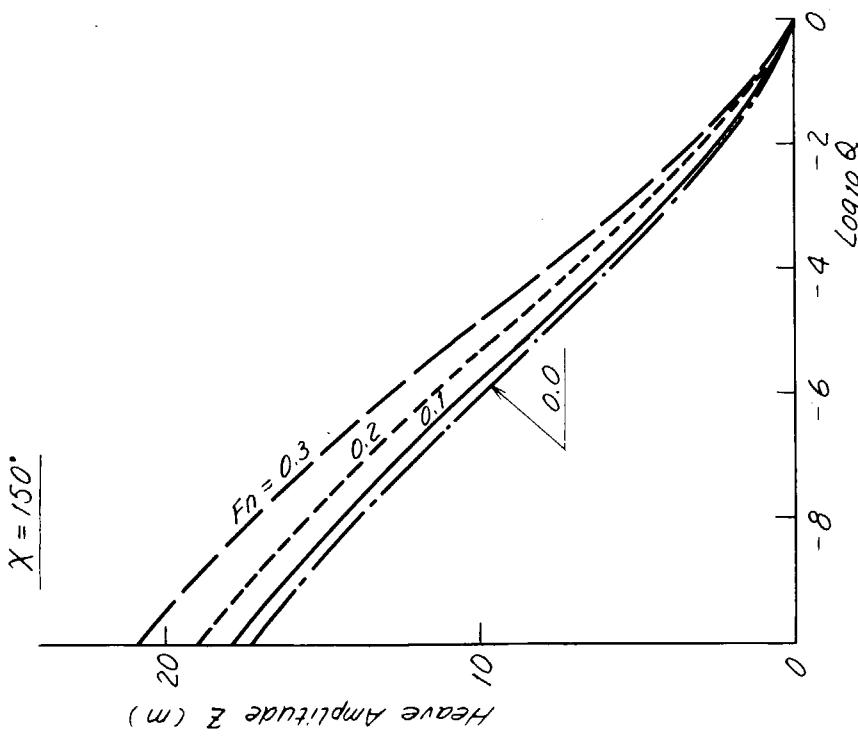
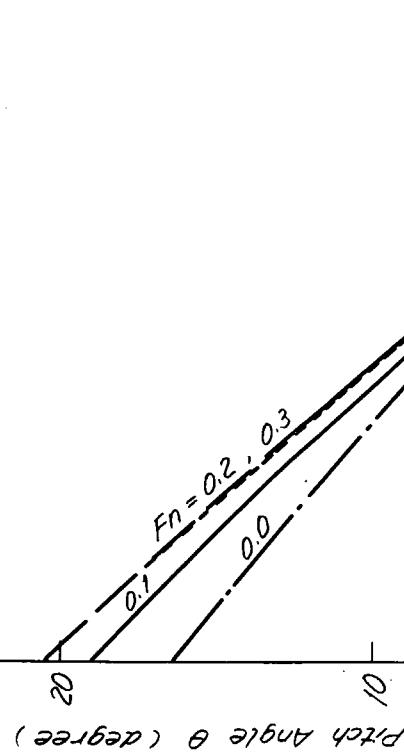


Fig. 2.1.9

Fig. 2.1.10

Long-term Distribution of Pitch in Short-Crested Irregular Seas

All Headings



$\chi = 180^\circ$

Pitch Angle θ (degree)

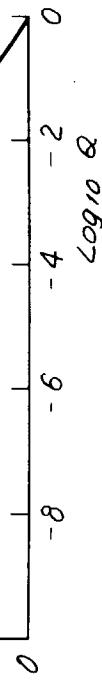


Fig. 2.1.11

Fig. 2.1.12

Long-term Distribution of Pitch in Short-crested Irregular Seas

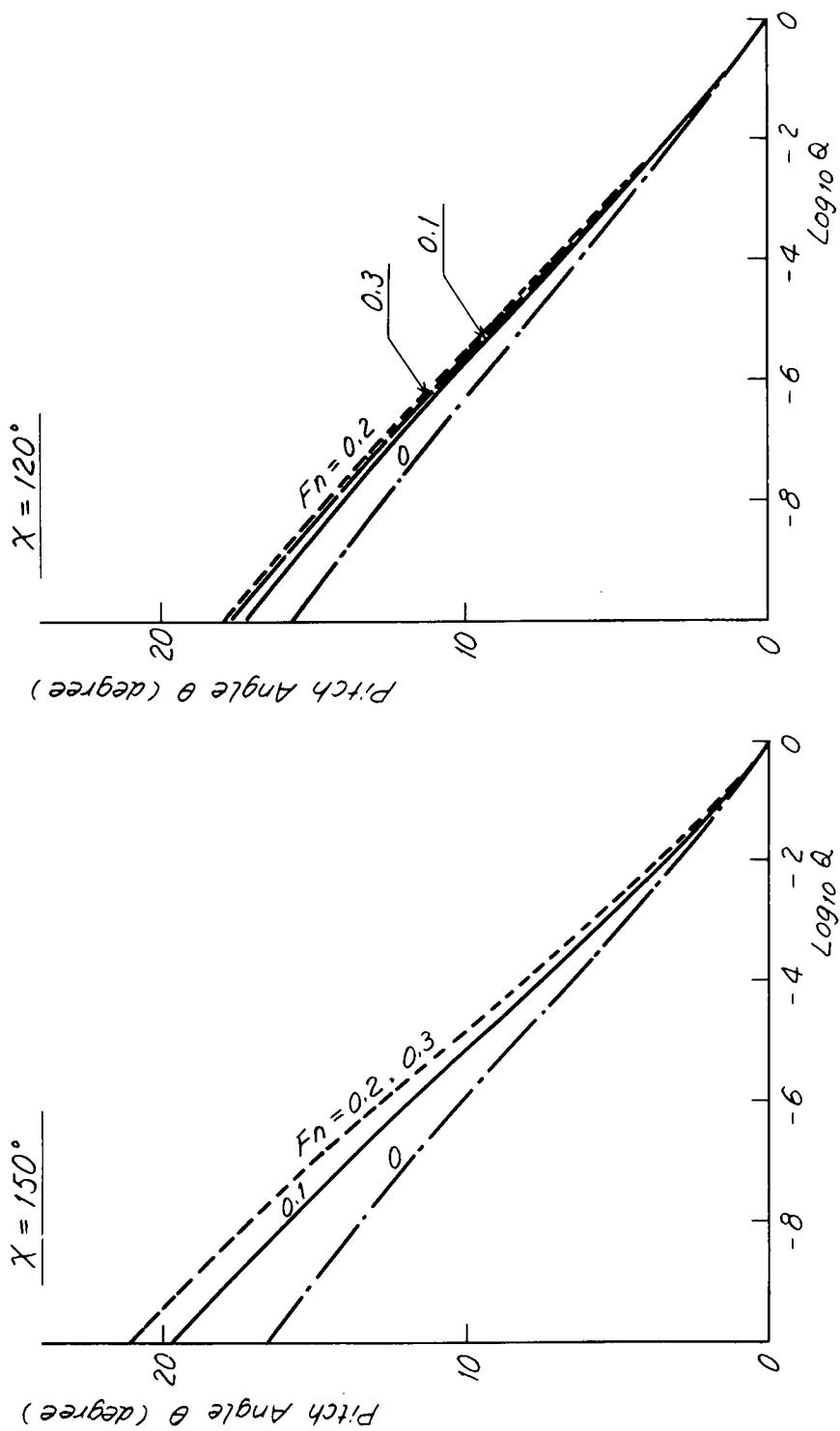


Fig. 2.1.13

Fig. 2.1.14

Long-term Distribution of Vertical Acceleration at C.G.
in Short-Crested Irregular Seas

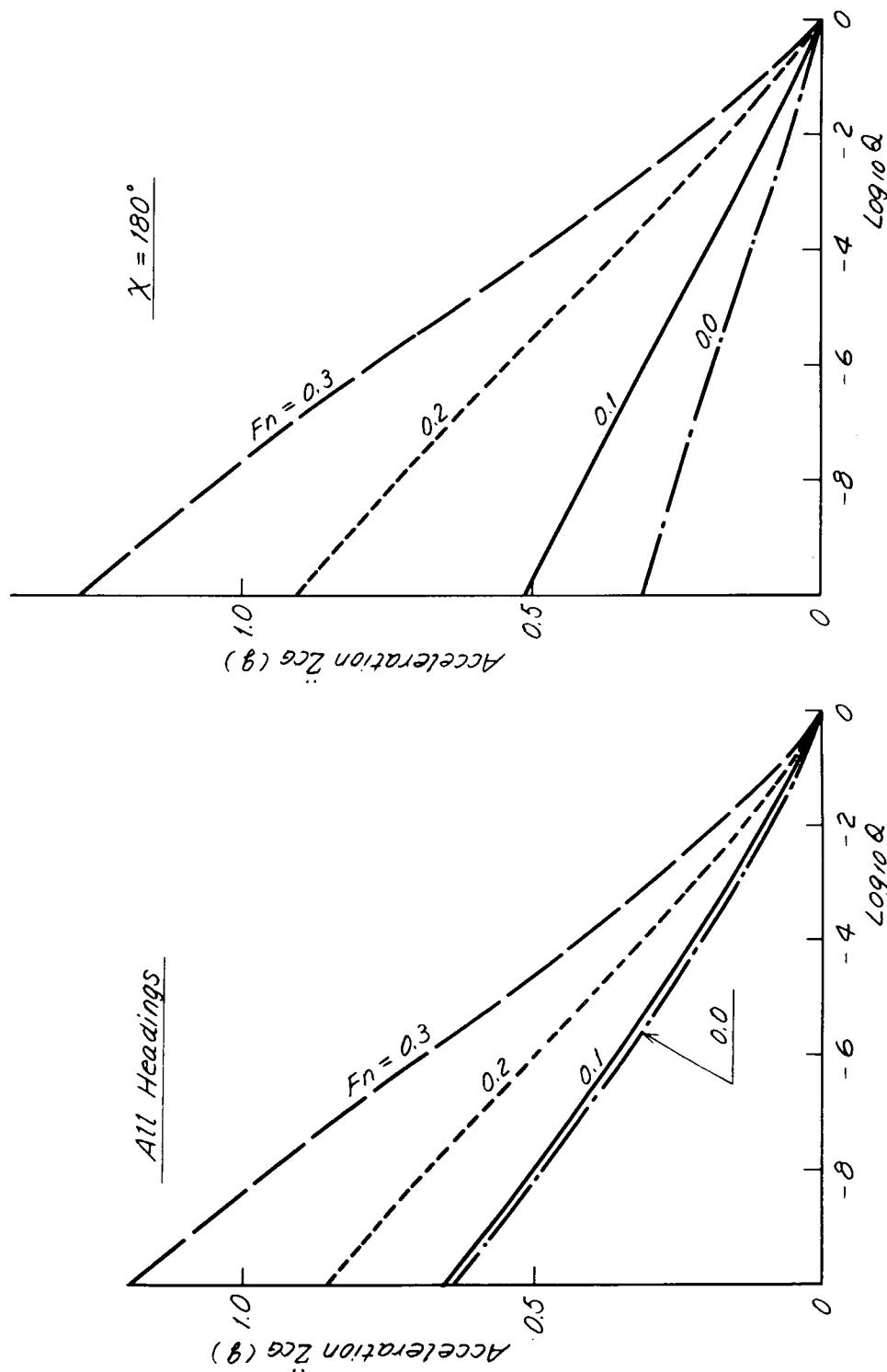


Fig. 2.1.15.

Fig. 2.1.16.

Long-term Distribution of Vertical Acceleration at C.G.
in Short-crested Irregular Seas

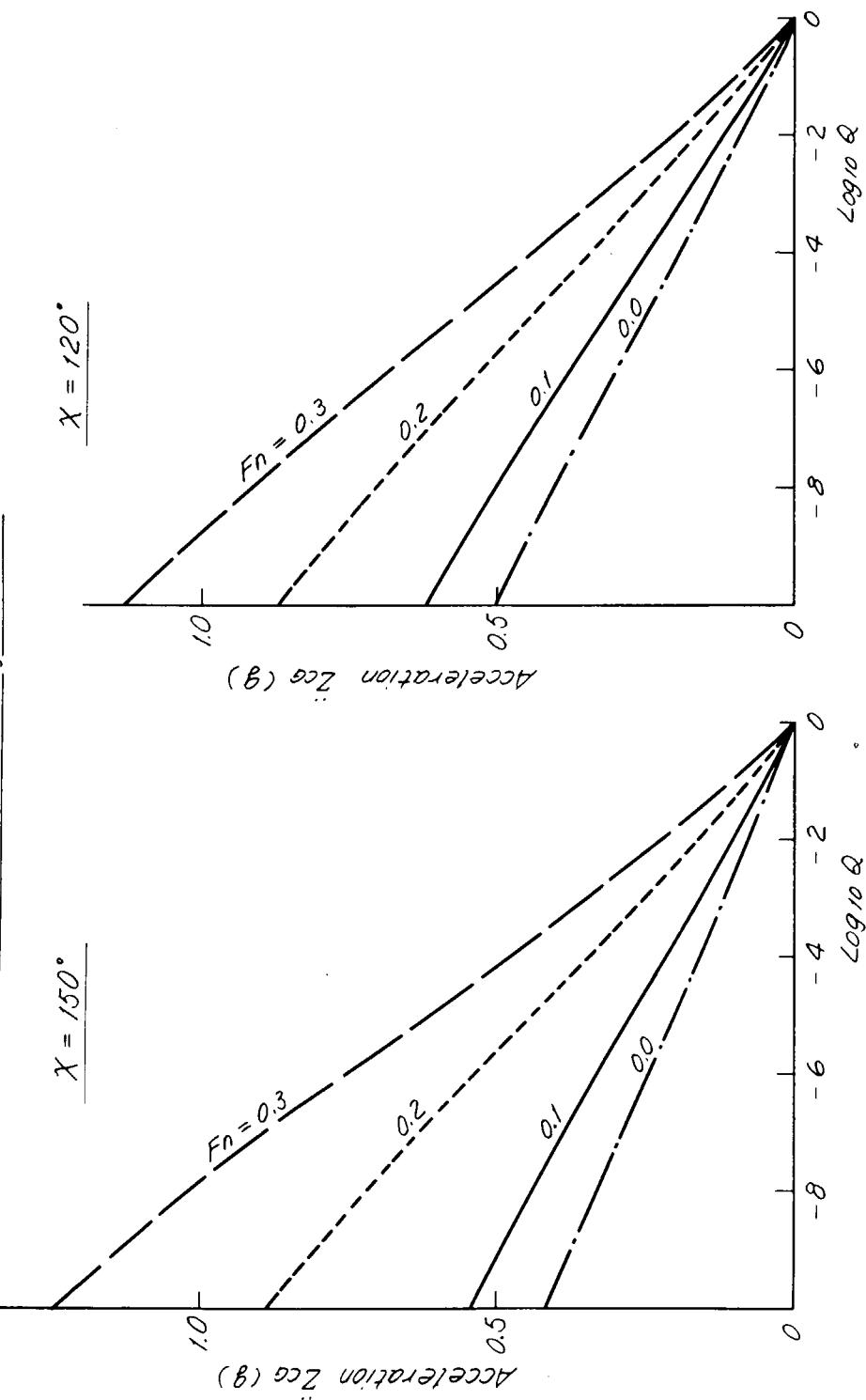


Fig. 2.1.17

Fig. 2.1.18

*Long-term Distribution of Vertical Acceleration at F.P.
in Short-crested Irregular Seas*

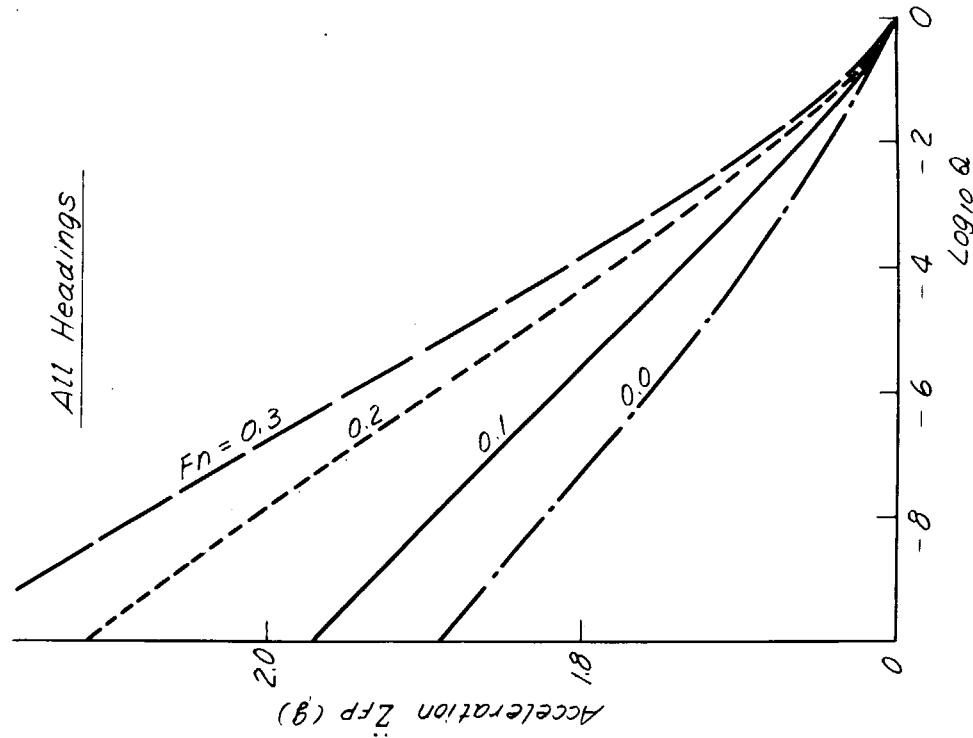


Fig. 2.1.19.

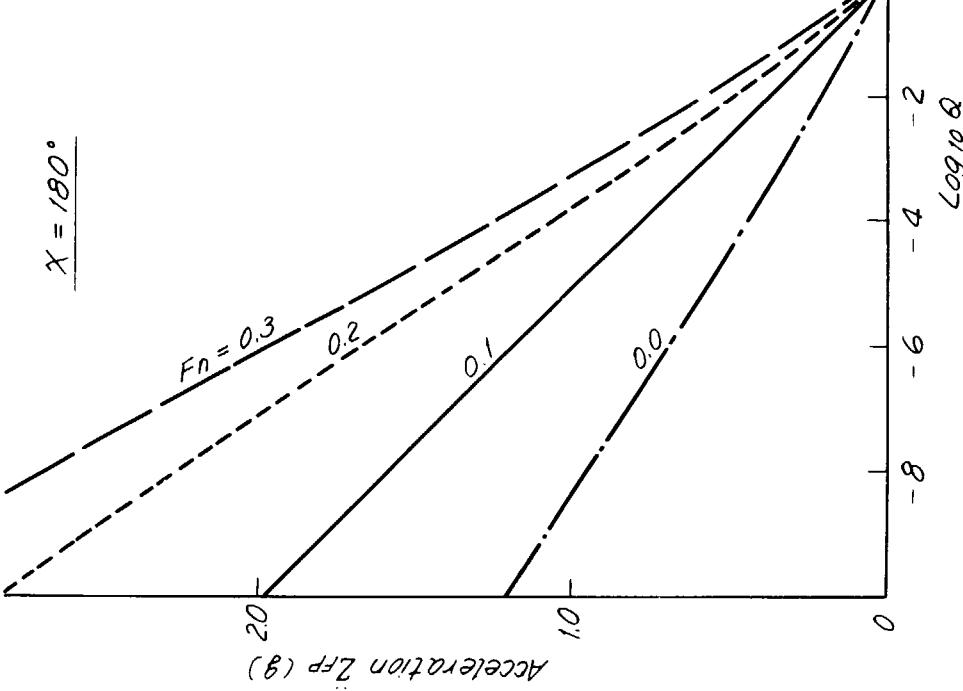


Fig. 2.1.20.

Long-term Distribution of Vertical Acceleration at F.P.
in Short-crested Irregular Seas

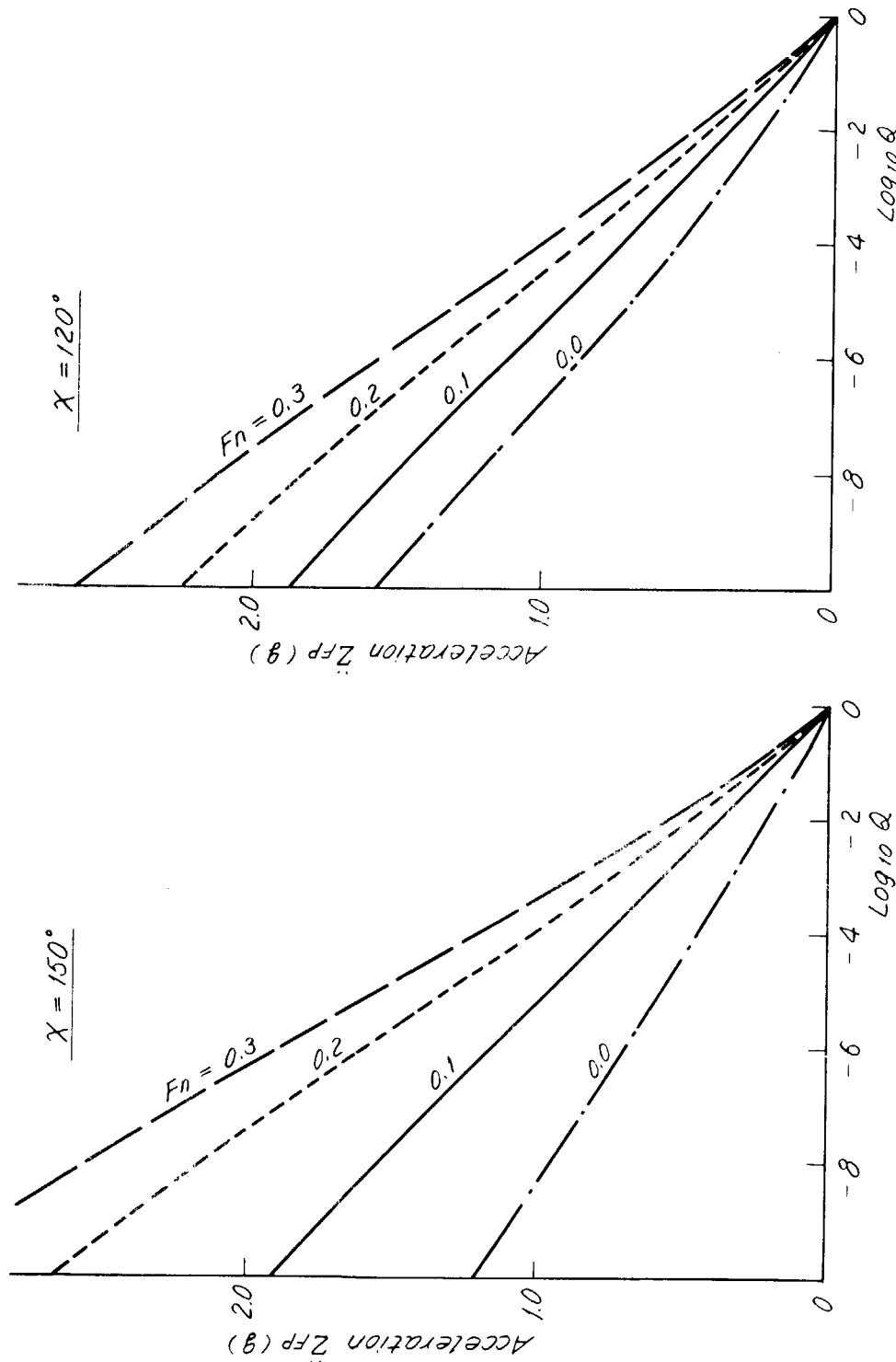


Fig. 2.1.21.

Fig. 2.1.22.

Long-term Distribution of Roll in Short-crested Irregular Seas

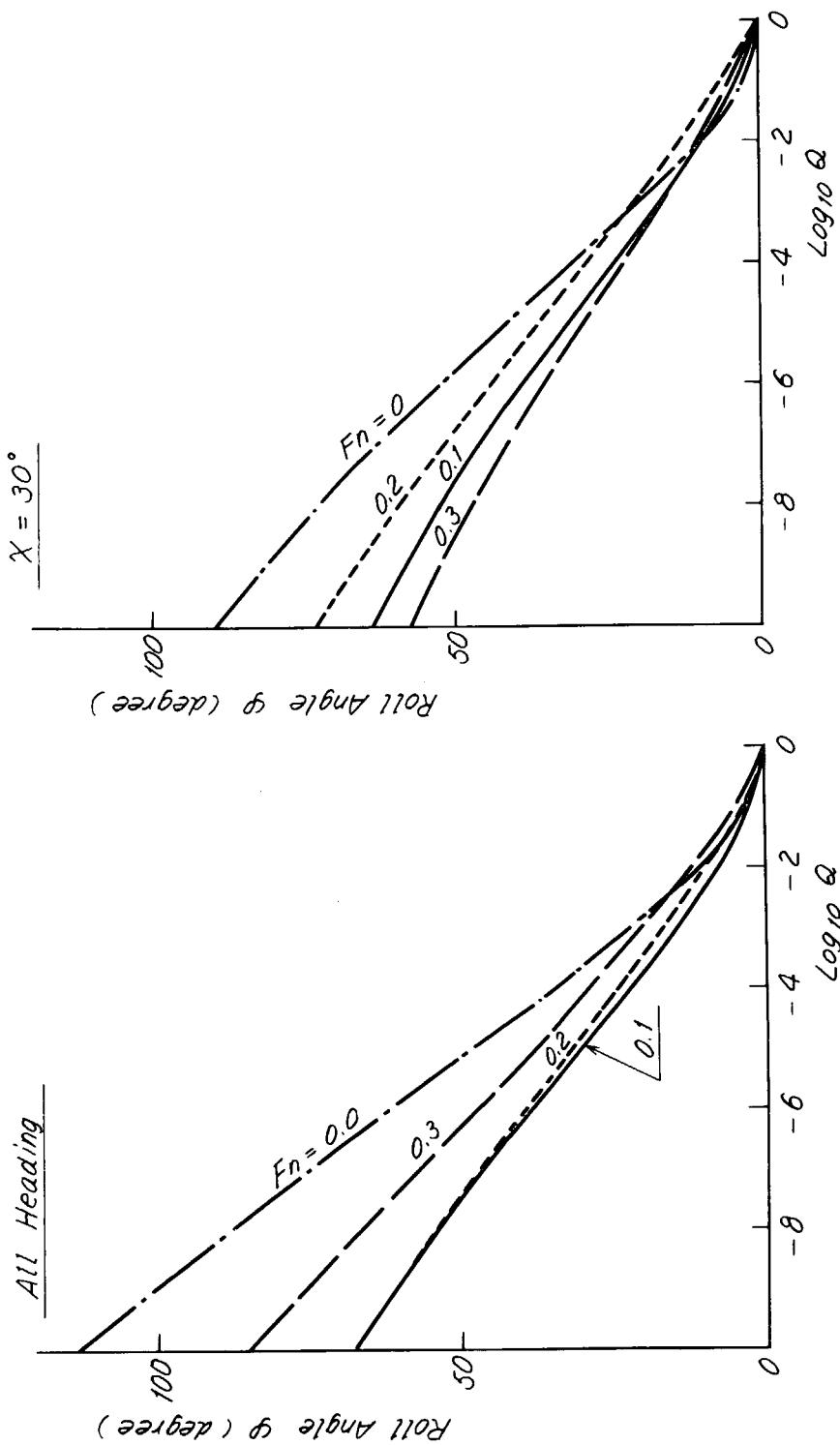


Fig. 2.1.23. Fig. 2.1.24.

Long-term Distribution of Roll in Short-crested Irregular Seas

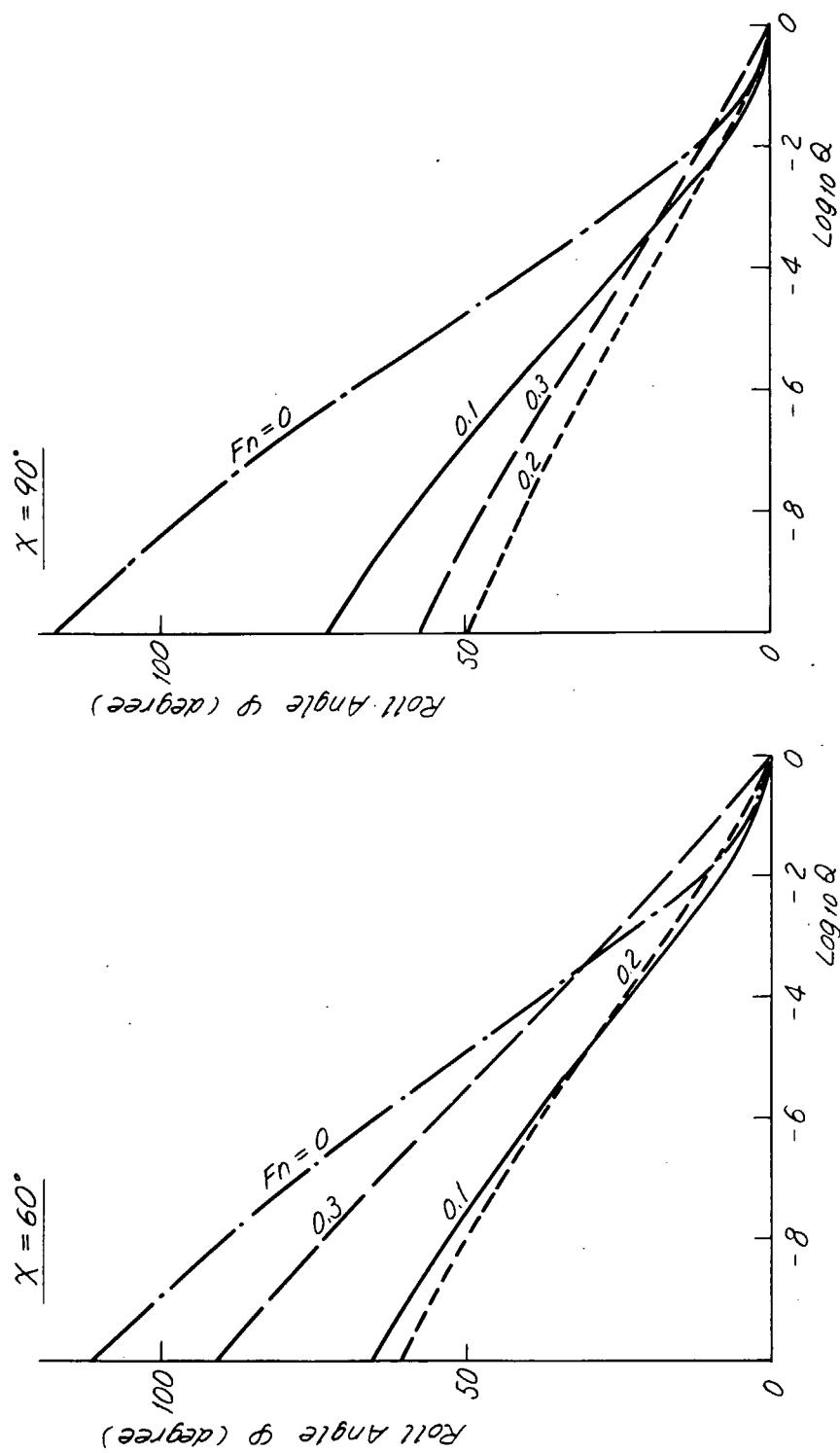


Fig. 2.1.25
Fig. 2.1.26

Long-term Distribution of Lateral Acceleration at C.G.
in Short-crested Irregular Seas

All Headings

$\chi = 30^\circ$

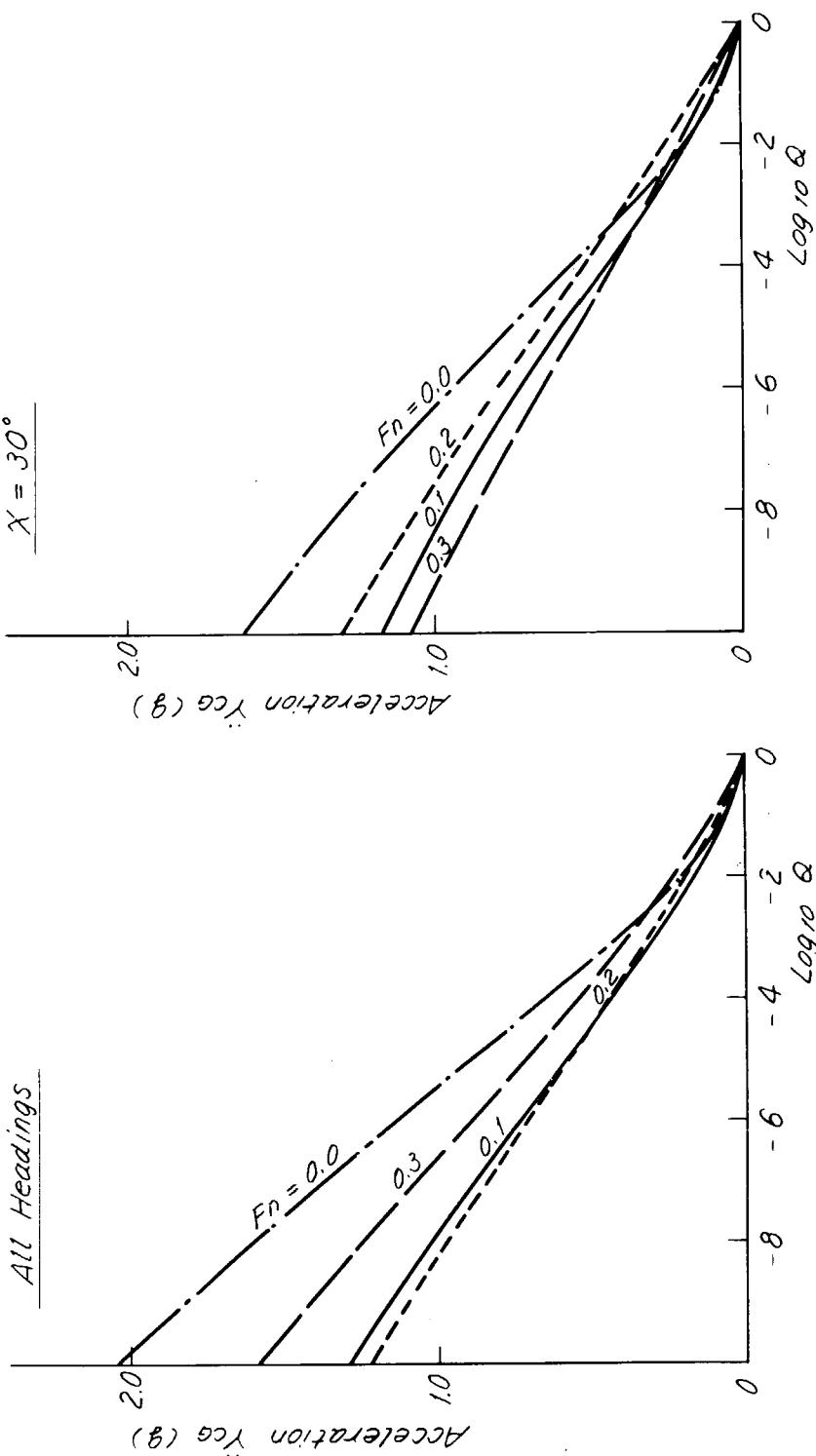
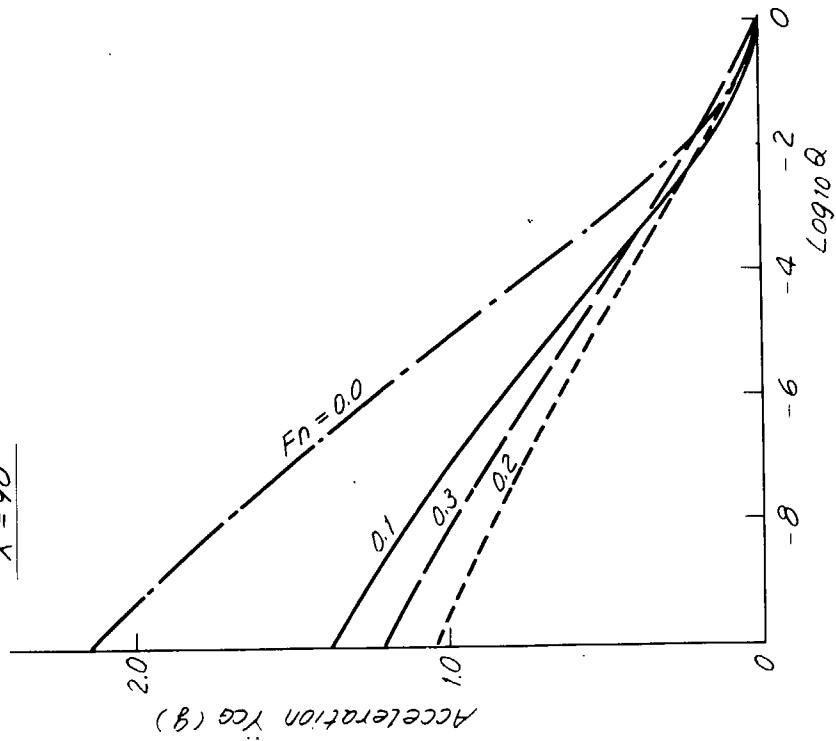


Fig. 2.1.27

Fig. 2.1.28

Long-term Distribution of Lateral Acceleration at C.G.
in Short-crested Irregular Seas

$\chi = 90^\circ$



$\chi = 60^\circ$

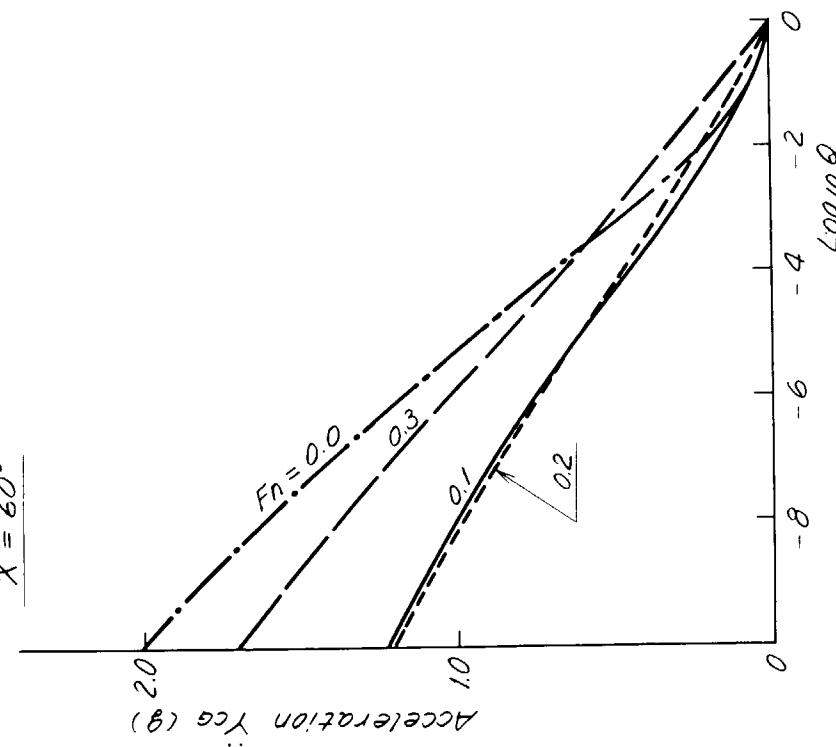


Fig. 2.1.30

Fig. 2.1.29

Vertical Acceleration at C.G. : \ddot{Z}_{CG}

$$\log_{10} Q = 10^{-7}$$

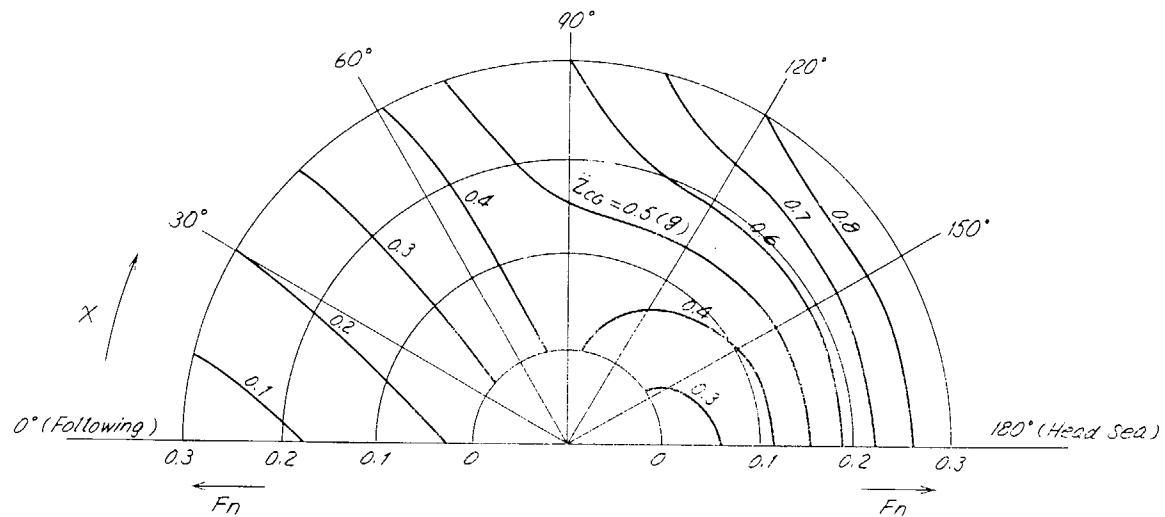


Fig. 2.1.31

Vertical Acceleration at F.P. : \ddot{Z}_{FP}

$$\log_{10} Q = 10^{-7}$$

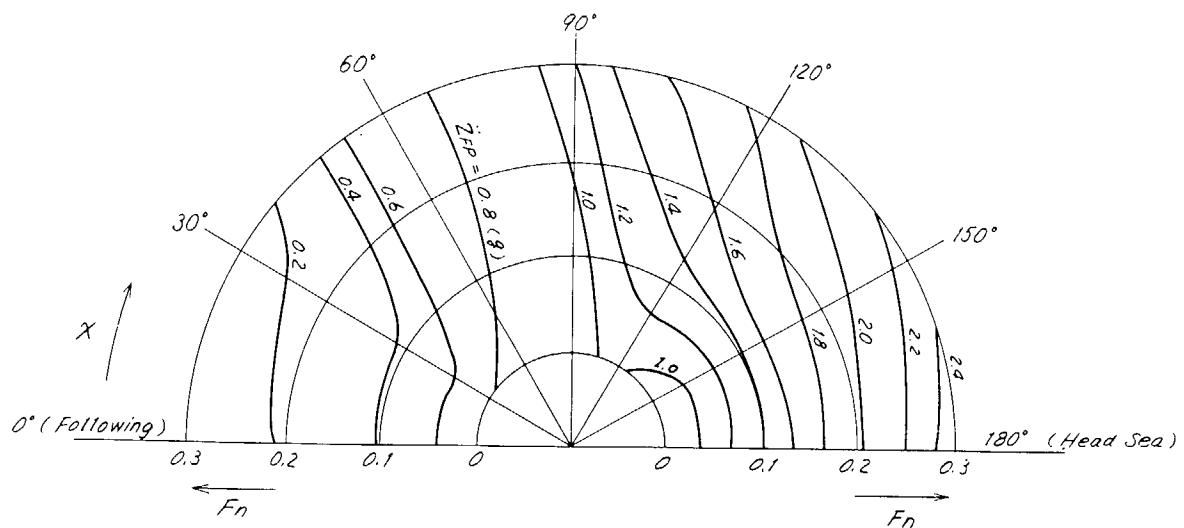


Fig. 2.1.32.

2.2 海水打込み

短期の海水打込み確率を求める際に用いた相対変位の標準偏差 R_r と長期の海象状態から、前節（2.1.3）式により、相対変位の長期分布が求まるが、この値から有効乾舷 f_e を差し引いて、長期の打込み海水の高さを求めたものが Fig. 2.2.1である。なお図中 ζ_r は、相対変位の振幅である。S.S. $9\frac{1}{2}$ の場合、Swell-upを考慮しない Center line と Shell side での計算値の差は少ないが、Swell-upを考慮した Shell side での計算値との差は大きい。

海水打込みの確率が α を越えるような航海状態に遭遇する長期の累積確率 Q_α は福田⁴⁾により次式で与えられている。

$$Q_\alpha = \int_0^\infty \int_{H_\alpha}^\infty P(H_{1/3}, T_W) dH_{1/3} dT_W \quad (2.2.1)$$

ここで、 H_α は平均波周期が T_W のときに海水打込み確率が α を越えるような有義波高である。

Q_α の計算値を Fig. 2.2.2～Fig. 2.2.4に示す。

短期海面において、F.P.の上下加速度の有義両振幅が 0.8 g 以下になるよう減速する場合と、一定船速で航走する場合とでかなりの差があることが分る。すなわち、減速する場合には海水打込み確率 α が 0.01, 0.02 など小さな値の航海は変わらないが、 α の大きな航海状態は大変少なくなる。

また、このような減速を行なつた場合には、相対変位の長期分布も Fig. 2.2.5に示すように変化し、打込み海水の高さが減ることが分るが、実際には、減速すれば、有効乾舷が大きくなるから、この図に現われているよりもさらに打込み海水の高さは減るはずである。

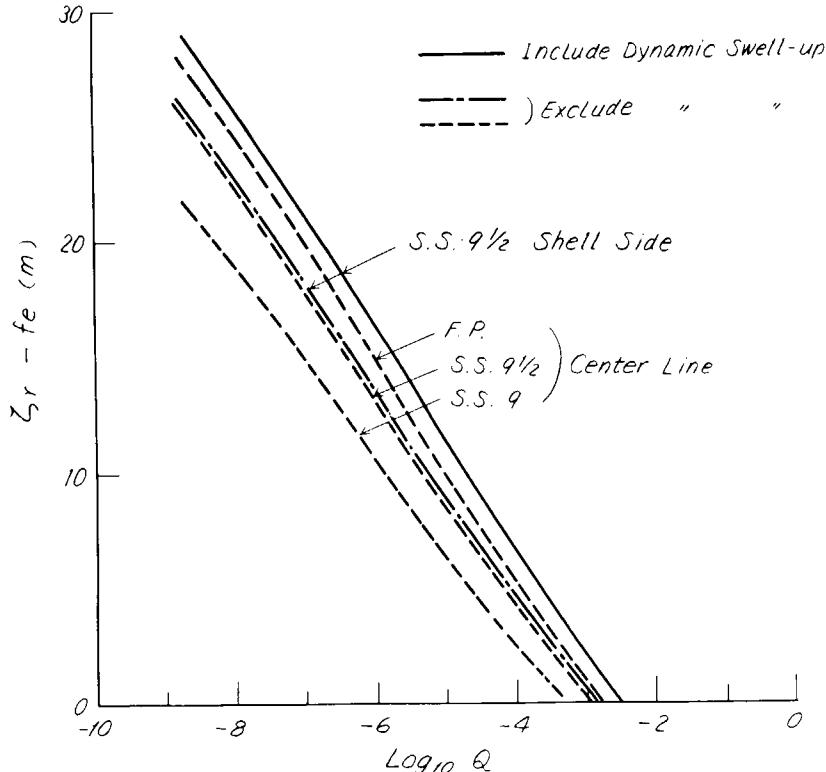


Fig. 2.2.1 Long-Term Distributions of Deck-Wetness
Relative motion - Effective Freeboard,
in the North Atlantic, All Headings.
 $F_n = 0.25$ (20.13 kt)

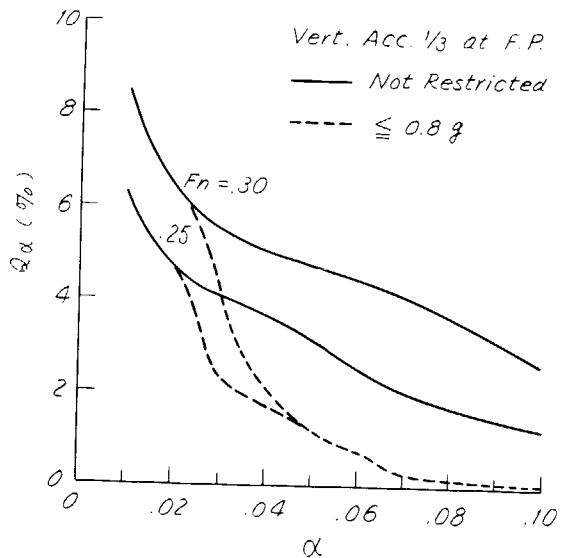


Fig. 2.2.2. Long-Term Probabilities of Wet-Deck Navigation ($q > \alpha$)

North Atlantic, Whole Year,
Short-Crested Irregular Waves,
Head Seas ($X = 180^\circ$)

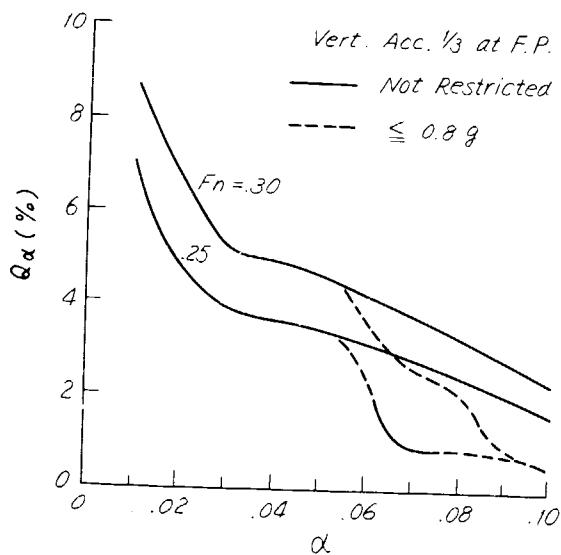


Fig. 2.2.3. Long-Term Probabilities of Wet-Deck Navigation ($q > \alpha$)

North Atlantic, Whole Year,
Short-Crested Irregular Waves,
Bow Seas ($X = 120^\circ$)

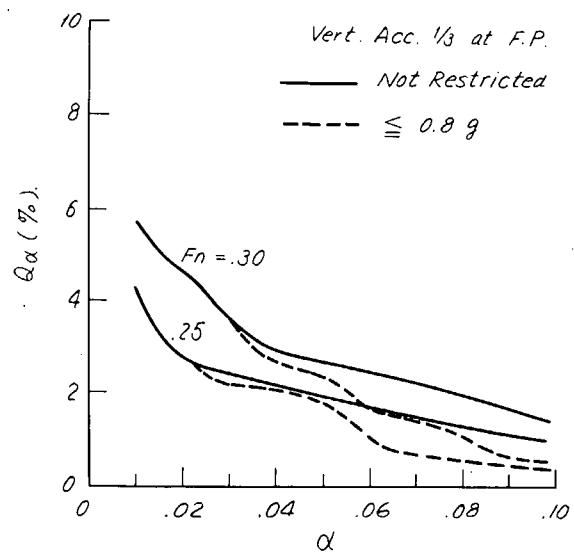


Fig. 2.2.4. Long-Term Probabilities of
Wet-Deck Navigation ($g > \alpha$)

North Atlantic, Whole Year,
Short crested Irregular Waves,
All Headings

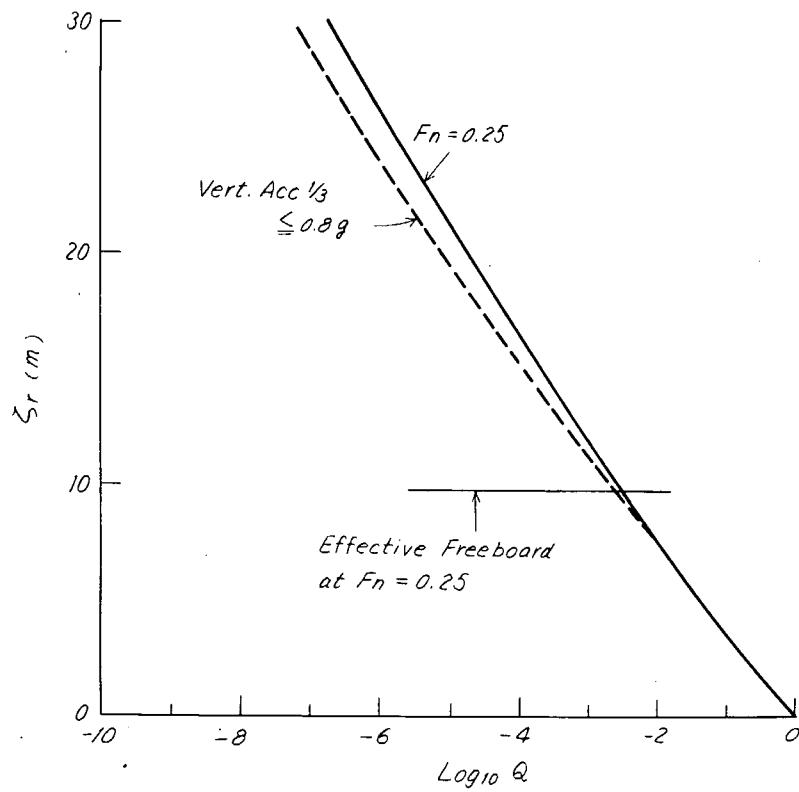


Fig. 2.2.5. Long-Term Distributions of Relative Motion
S.S. 9 1/2. Shell Side,
in the North Atlantic. All Headings
include dynamic swell-up.

3. 不規則波中の速度低下と操船法

3.1 馬力増加による速度低下

3.1.1 速度低下の意味および仮定

風および波浪のある海象下を船舶が航行する場合、風抵抗および波による抵抗増加のために馬力増加が起ることは周知のとおりである。船舶に搭載されている主機の出力は有限であるから、馬力増加に起因して速度低下が起る。この速度低下は実船試験あるいは“Log book”的解析によつて経験的に知られており、海象が厳しくなれば速度低下も大きくなる。⁷⁾

本節では、規則波中の抵抗増加を基にして、短波頂不規則海面を航行する船舶の速度低下の推定を行なう。推定に當つて次のような仮定を設ける。

- (1) 風による抵抗増加、有効馬力増加は平均的なものを、波による抵抗増加、有効馬力増加と同様に重ね合わせることができる。
- (2) プロペラの単獨特性は、平水中、波浪中で差はない。
- (3) 波との Heading angle によって自航要素の変化はない。
- (4) 短波頂不規則波の卓越波の進行方向は風の方向と一致し、その成分波は卓越波の方向に対して $\cos^2 \theta$ 状に分布しているとする。

以上の仮定のもとに、短波頂不規則海面を航行するコンテナー船の速度低下の推定を行なつた。

推定を行なうに當り、斜規則波中における抵抗増加の値が必要であるが、馬力推定の計算に供すべき抵抗増加の実験値をもとにして、次のような仮定を設けて斜波中の抵抗増加に変換した。

- (1) 抵抗増加曲線のピーク値を与える出会い周波数 ω_e は波との Heading angle の変化によつて変化しない。
- (2) 抵抗増加量は波との Heading angle によつて Fig. 3.1.2 のような変化を示す。

この 2 つの仮定はかなり大胆ではあるが、種々の実験結果を調べると大略の傾向は一致している。

3.1.2 計算法

計算方法をプロツク図にして Fig. 3.1.1 に示す。

風による風圧抵抗は次式により求める。

$$R_A(\chi) = k \cdot \rho_A C_0 A V_r^2 \quad (3.1.1)$$

ただし、 k は相対風向に対する風向影響係数、 ρ は空気の密度、 C_0 は正面風圧抵抗係数、 A は水面上正面投影面積、 χ は絶対風向と船の平均進路とのなす角度、 V_r は相対風速で、 V_s を船速、 V_A を風速とすれば、 $V_r = \sqrt{(V_s + V_A \cos \chi)^2 + (V_A \sin \chi)^2}$ である。

ただし、 k は J.T.T.C. Standard line⁸⁾ を用い、また C_0 に関しては、Wagner の図表⁸⁾ より求めた。

短波頂不規則波中における抵抗増加を求めるに當り、2 次元波スペクトラムが必要であるが、Table 3.1.1 に示す特性を持つ ISSC 型スペクトラム $S(\omega)$ に spreading function $\frac{2}{\pi} \cos^2 \theta$

$(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2})$ を乗じて、2 次元波スペクトラムは、

$$S(\omega, \theta) = S(\omega) \times \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad (3.1.2)$$

ここに、 ω は波の円周波数、 θ は卓越波と成分波のなす角度である。従つて、不規則波中における抵抗増加は、

$$\overline{R_{AW}}(\chi) = 2 \int_0^\infty d\omega \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} R_{AW}(\chi) \cdot S(\omega, \theta) d\theta \quad (3.1.3)$$

ただし、 $\overline{R_{AW}}(\chi)$ は不規則波中における平均增加量を表わす。また $R_{AW}(\chi)$ は規則波中抵抗増加量を（波高）²で除して求めた応答関数である。

(3.1.1) 式および(3.1.2)式の計算を、船速として $F_n = 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$ の 4 状態、Heading angle として $\chi = 0^\circ$ (follow), 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° (head) の 7 状態について計算した。

自航要素に関して、 $1-t$, $1-w$ は、海象の変化によつてその変化の小さいことが確かめられたので⁹⁾、波浪中における平均値を用いた。また、推進器効率比 η_R は、海象が厳しくなると、かなり低下することが模型実験によつてわかつたので⁹⁾、その低下を考慮した推定を行なつた。軸系の伝達効率 η_T は 0.97 とした。

Fig. 3.1.1 に示すプロック図をプログラム化して、Table 3.1.1 に示す種々の海象下における馬力ー速度曲線を、7 種の Heading angle に対して求め、さらにこの図より速度低下を求めた。

3.1.3 結果および考察

速度低下の推定は、SR-108 1 軸コンテナー船を対象に行なつた。供試船の要目を Table 3.1.2 に示す。

Fig. 3.1.3～Fig. 3.1.9 に、風および波との Heading angle を変えて推定した馬力ー速度曲線を示す。図中、実線は不規則波中の η_R を使用した場合、破線は η_R として平水中における値を用いて推定した曲線である。これらの 2 種の曲線の間の差は自航要素の違いによつて生じた差である。Fig. 3.1.10, Fig. 3.1.11 および Fig. 3.1.12 に主機馬力の 5 種類の一定値における速度低下の海象に対する変化の様子を示す。これらの図を総合して、Fig. 3.1.13 および Fig. 3.1.14 に “速度低下推定用 chart” を示す。Fig. 3.1.13 および Fig. 3.1.14 より、海象が特に厳しい Beaufort 169 あるいは 10 の海面で速度低下の割合が鈍つている。これは、本推定に用いた有義波高に比べて、かなり低い有義波高の不規則波中模型実験結果より得られた η_R を使用したためと考えられる。SR-125 実船実験資料⁹⁾と比較するために Fig. 3.1.13 に実験点を記入しておく。ただし、点は Beaufort 16 に相当する波高に対して記入してある。このほかには、比較の対象となる実験値は存在しないが、実船実験、あるいは “Log book”的解析によつて得られる値と傾向は一致している。かなり大胆な仮定のもとに推定した速度低下ではあるが、設計段階における目安を与えるには十分であると考えられる。

Table 3.1.1. 海象

Beaufort NO.	6	7	8	9	10
V _A (m/sec)	12.4	15.5	18.9	22.6	26.4
T _w (sec)	7.6	8.9	10.3	11.7	13.1
H _{1/3} (m)	3.9	5.3	7.1	9.2	11.5

Table 3.1.2. 主要目

Ship	LPP (m)	175.0
	B (m)	25.4
	d _m (m)	8.5
	V (ton)	21,222.0
	S (m ²)	5,328.0
	C _B	0.559
Main Engine	MCR (PS)	27,500
	Cruising (PS)	23,000
V _s	Cruising (Kn)	22.5
Prop Dia.	(m)	6.500

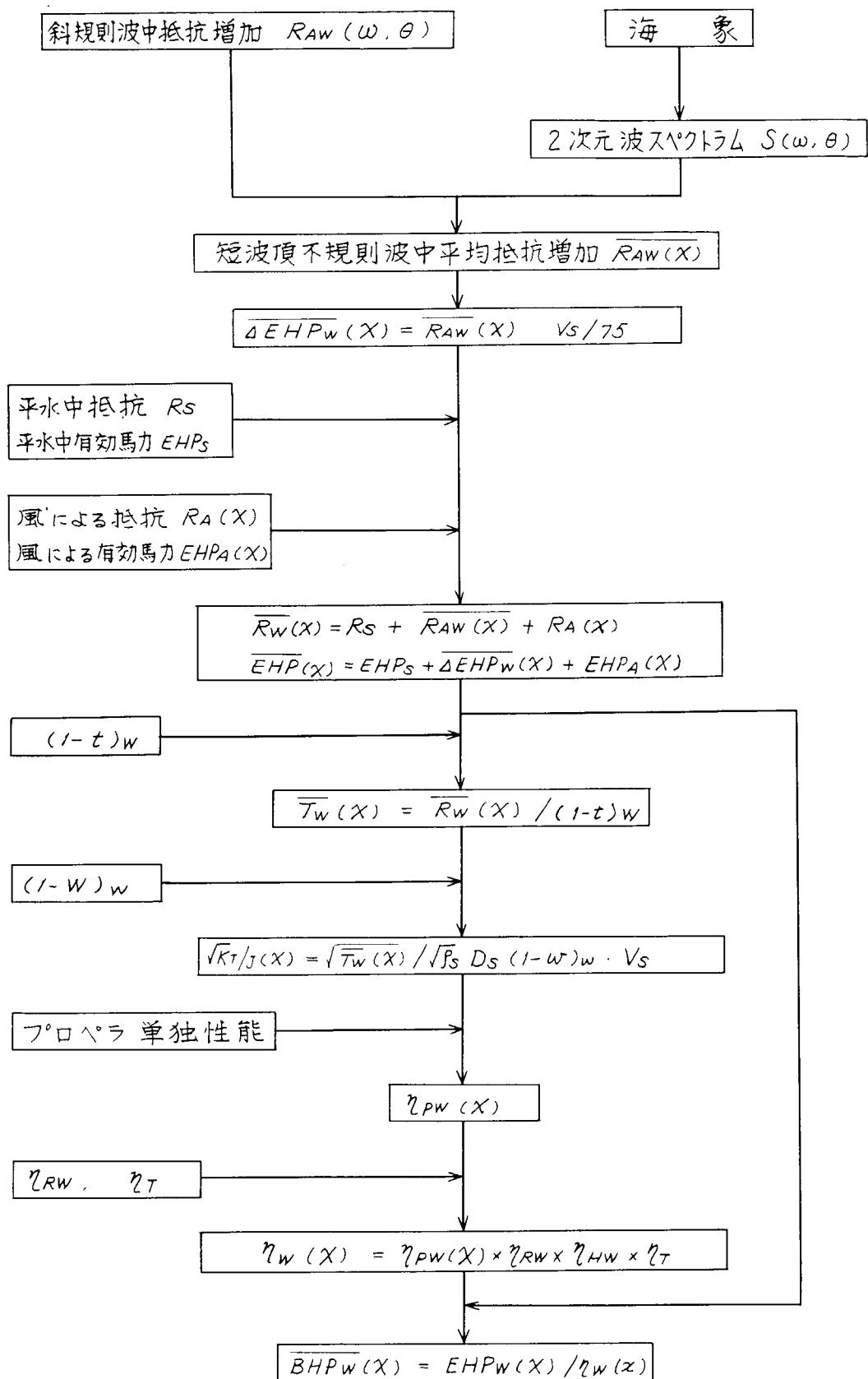


Fig. 3.1.1. BLOCK Diagram of Power Estimation.

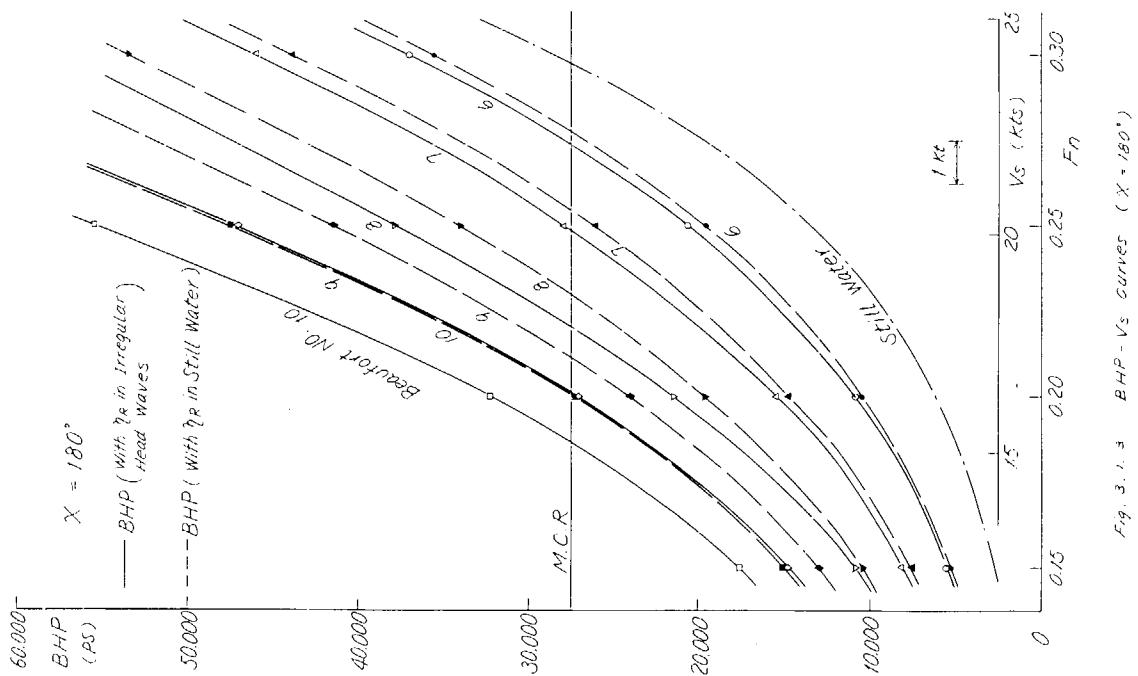
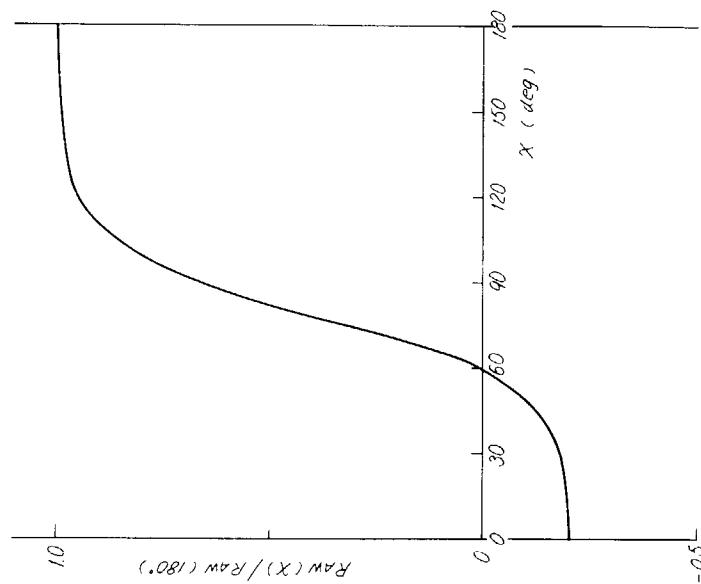


Fig. 3. 1. 2 Influence of wave direction upon resistance increase in regular waves (assumption)



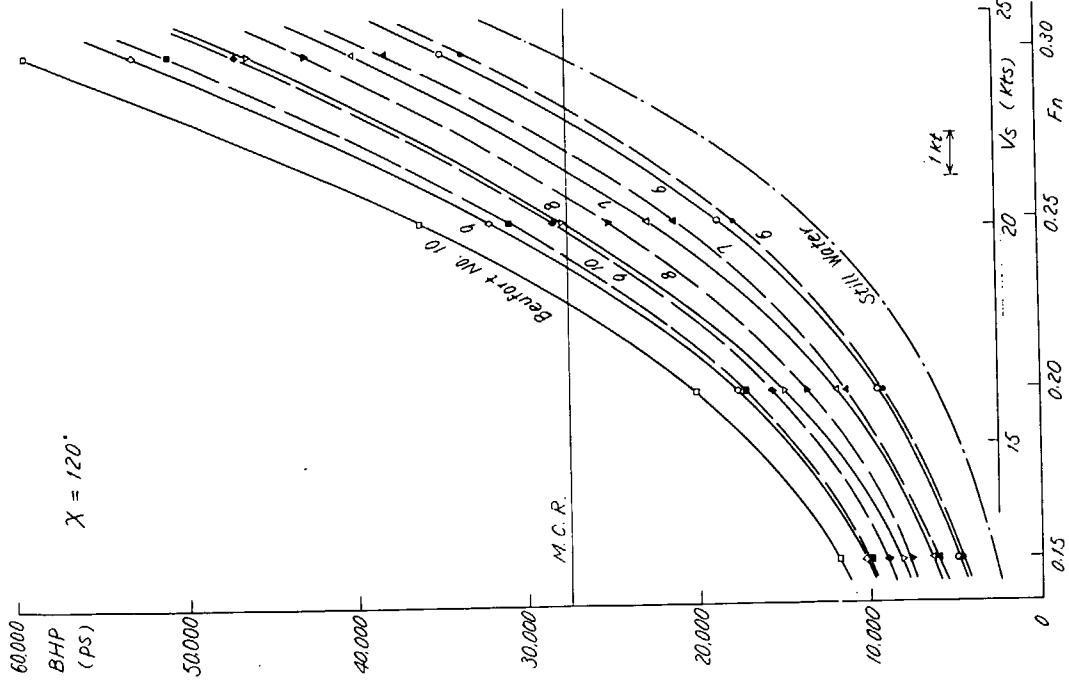


Fig. 3.1.5. BHP-V_S Curves ($\chi = 120^\circ$)

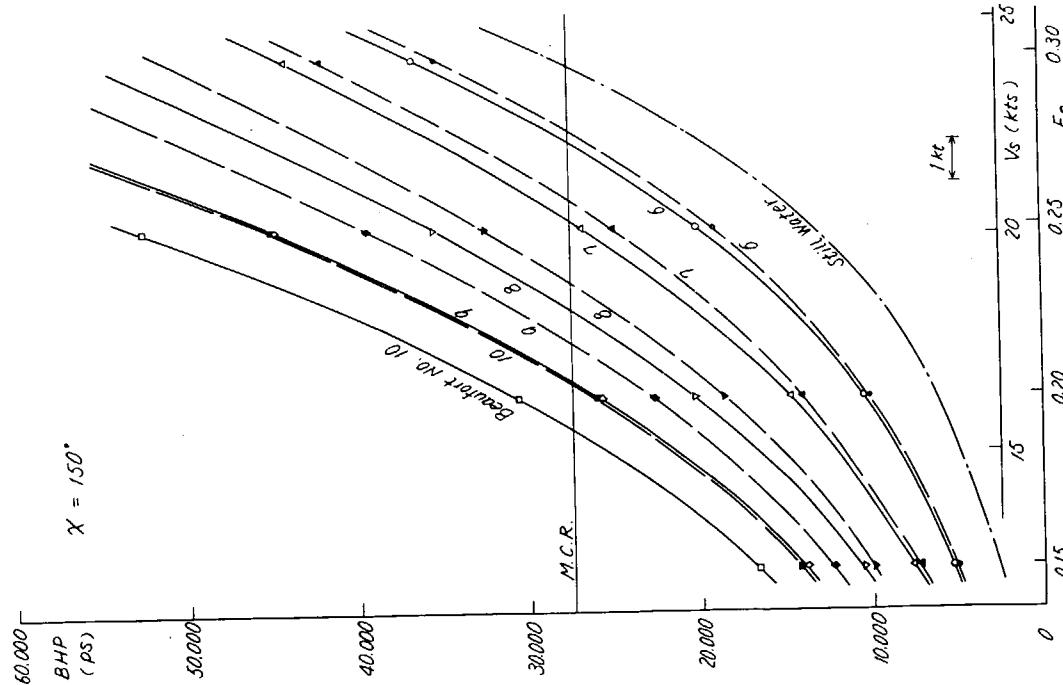
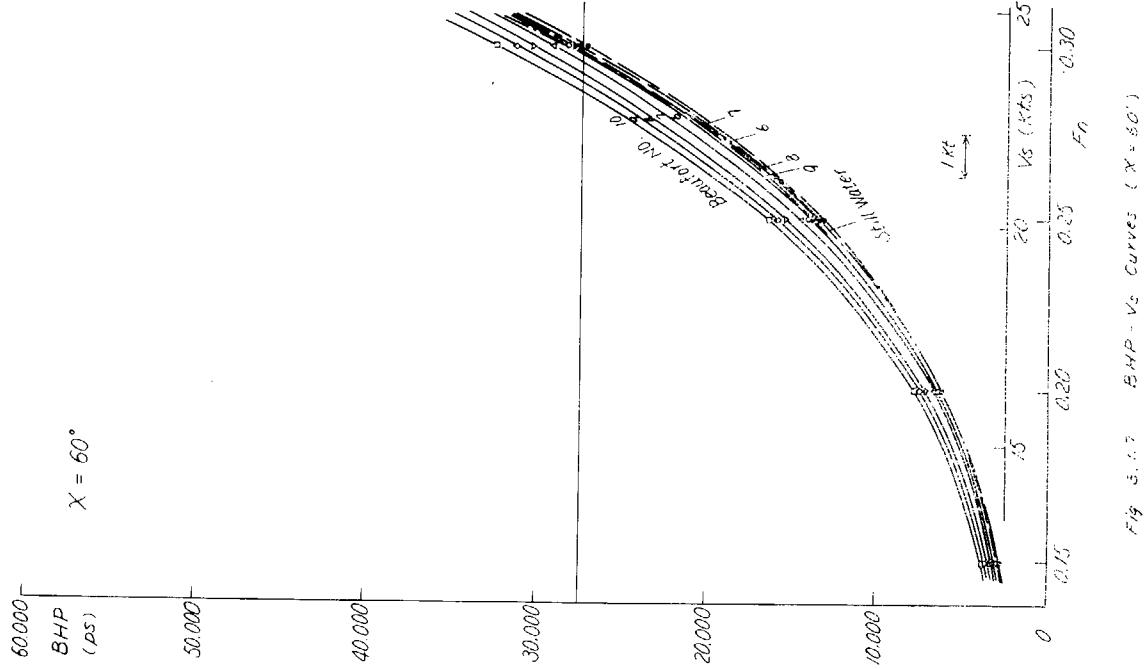
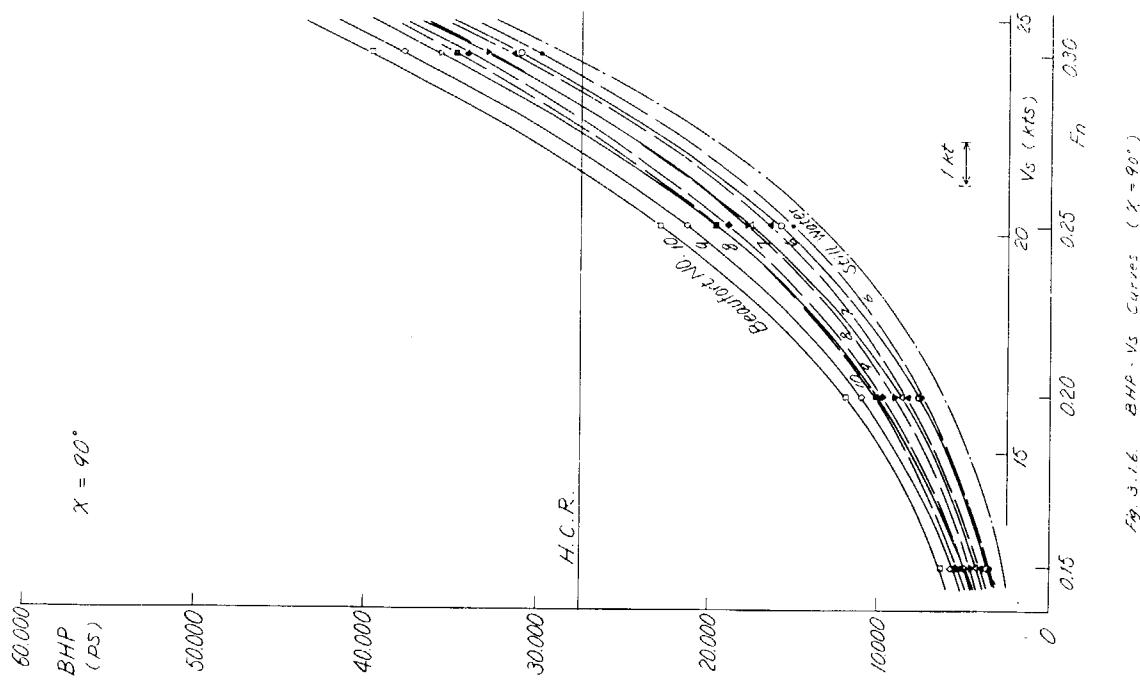
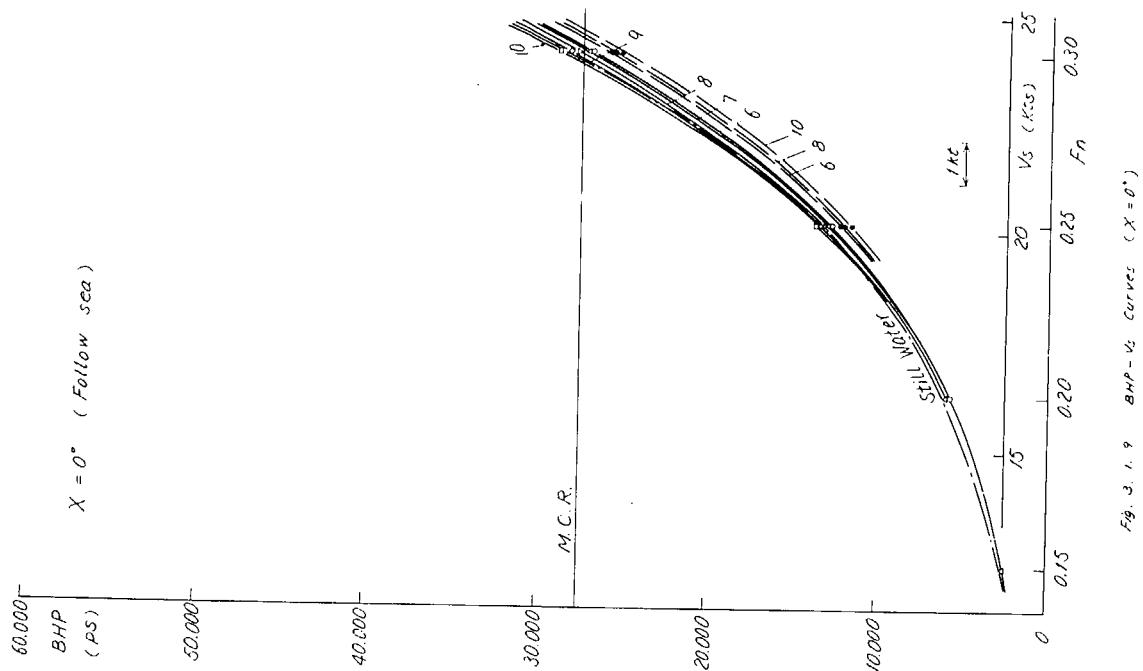
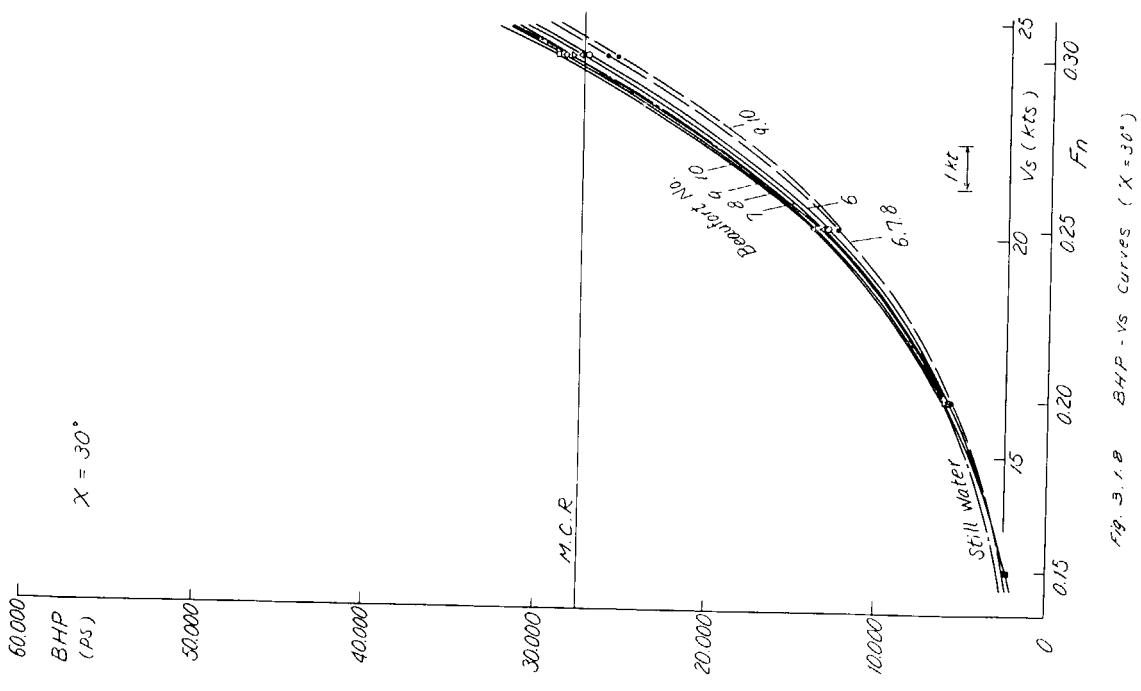


Fig. 3.1.6. BHP-V_S Curves ($\chi = 150^\circ$)





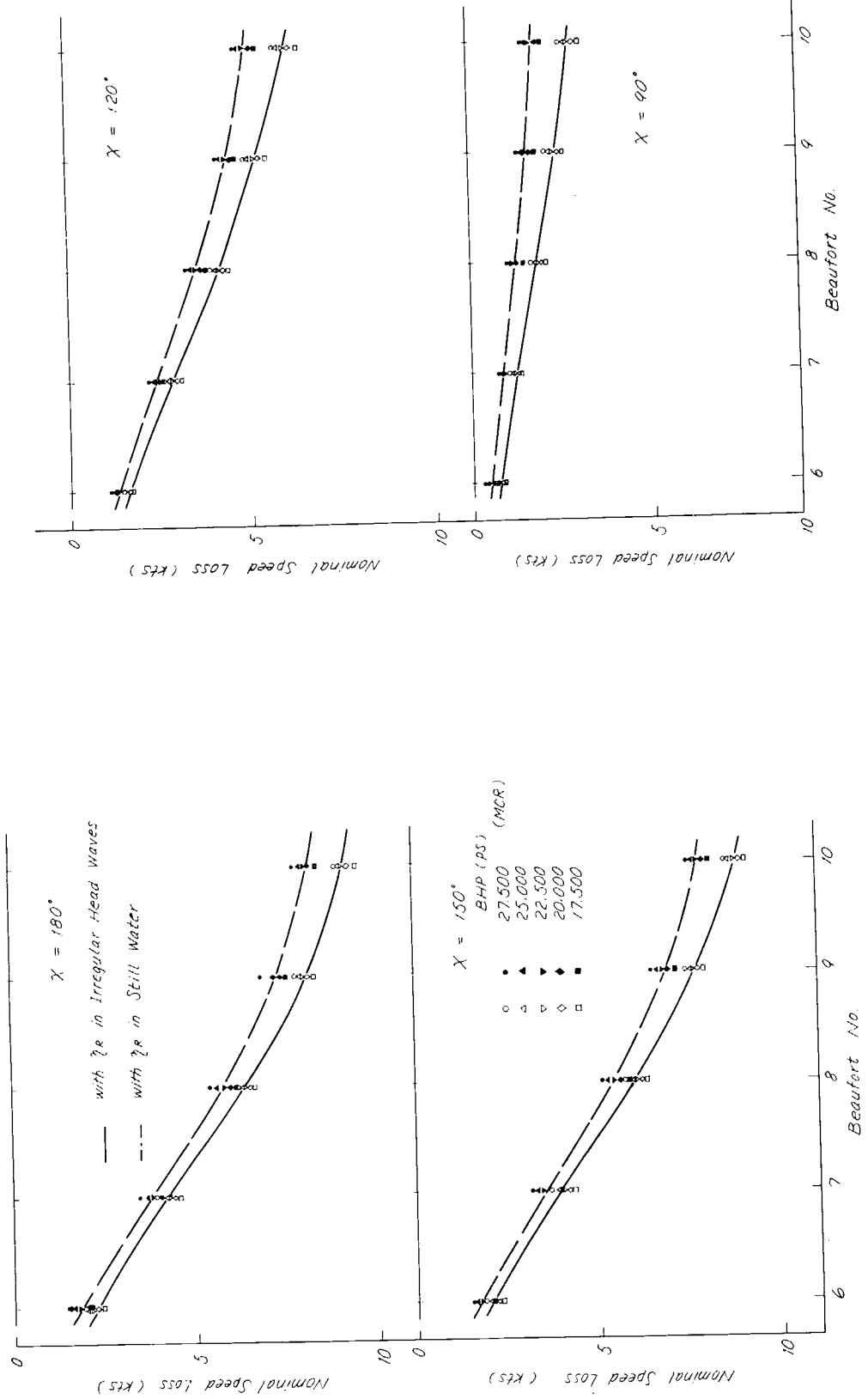


Fig. 3. 1. 10. Nominal Speed loss ($X = 120^\circ, 150^\circ$)

Fig. 3. 1. 11. Nominal Speed loss ($X = 120^\circ, 90^\circ$)

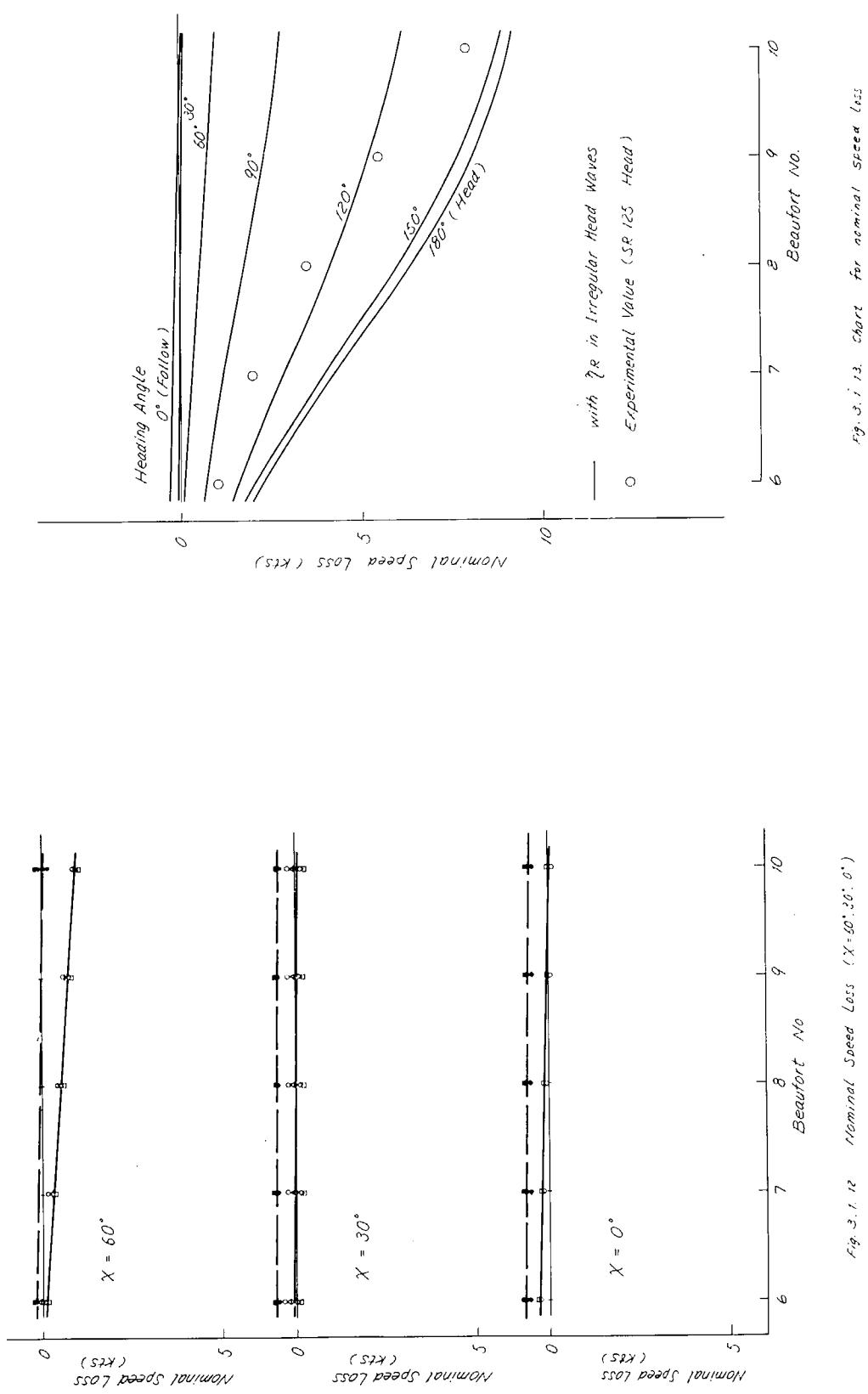


Fig. 3.1.13 chart for nominal speed loss

Fig. 3.1.12 Nominal Speed Loss ($\chi = 60^\circ, 30^\circ, 0^\circ$)

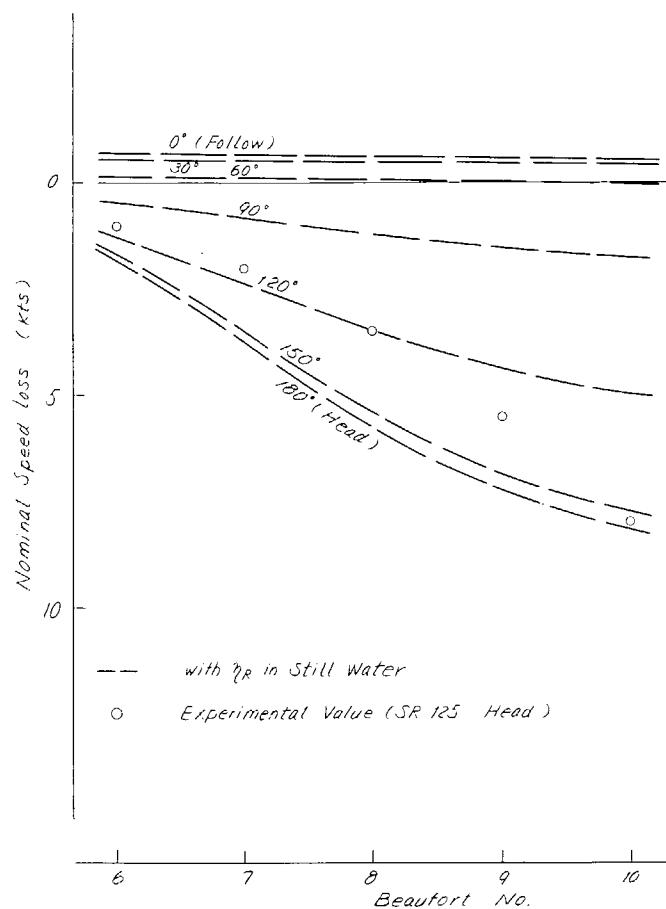


Fig. 3.114 Chart for nominal speed loss

3.2 危険回避による速度低下

短期不規則海面を航行する場合、船体動搖、加速度、海水打込み確率、スラミング確率など³⁾がある値以上になると、船体、人命、貨物の安全を確保するために減速、変針など適当な操船を行なう必要が生じる。このような危険を避けるための船速低下が、Deliberate loss of speed¹⁰⁾と言われているものである。船体動搖、加速度などの許容値を適当に定めて、短期不規則海面を航行する場合、波の主方向と船との出会い角ごとに、船速いくらまで出せるかという限界速度を求めたものをFig. 3.2.1～Fig. 3.2.6に示す。ただし最大船速は24 ktとしている。たとえば、F.P.での上下加速度の許容値を、有義両振幅で1.0 g とすると、Beaufort 6 の海象状態の場合、あらゆる方向で24 ktで走ることが可能であるが、Beaufort 10 の場合、正面波では船速を14 ktに落とす必要がある。

耐航性能の諸要素のうち、どういうものが限界速度を決めるのに最も重要であるのか、またその許容値はいくらかということは、船型や積荷によつて異なるから、この点に関する詳しい調査が必要である。

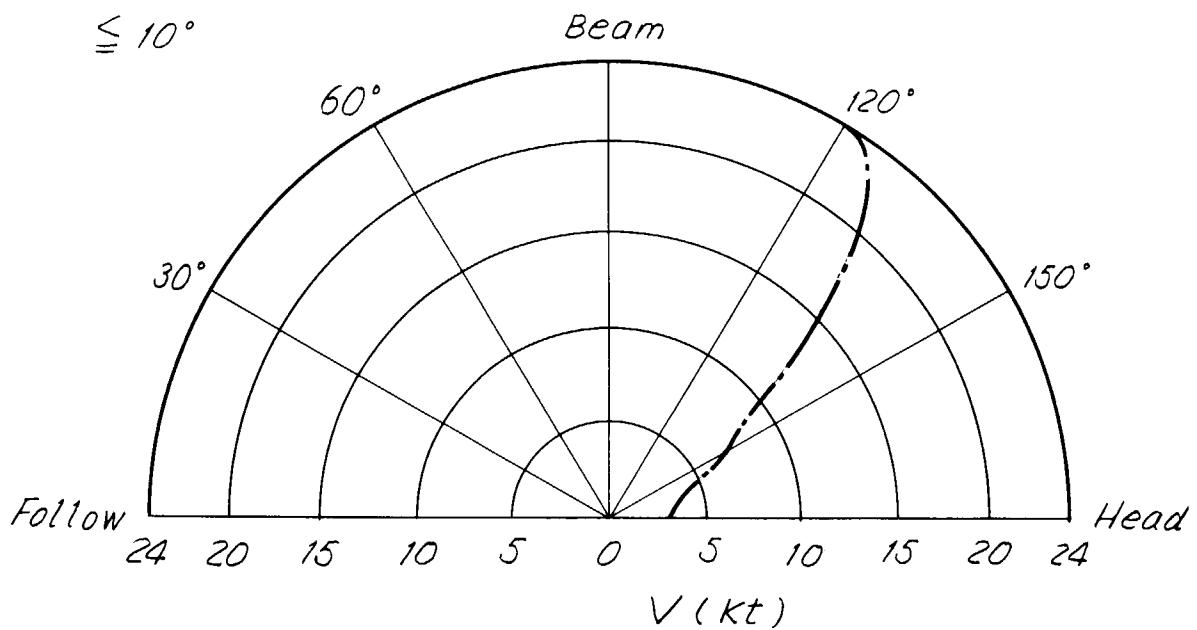
Beaufort

6

8

10

Significant Double Amp.



Significant Double Amp.

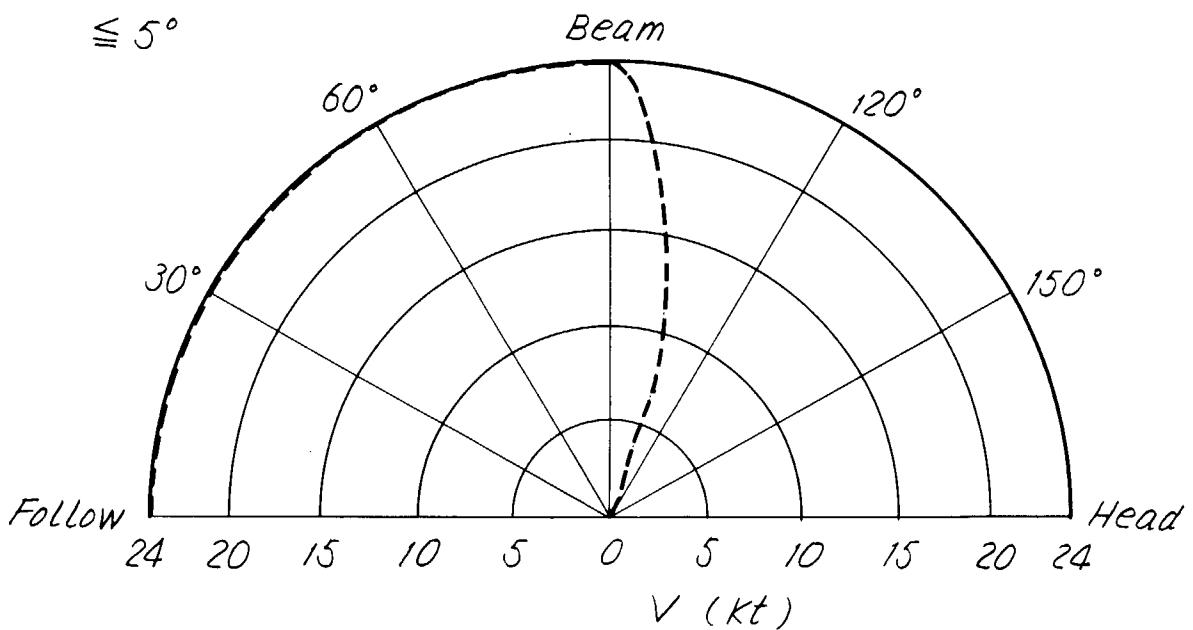
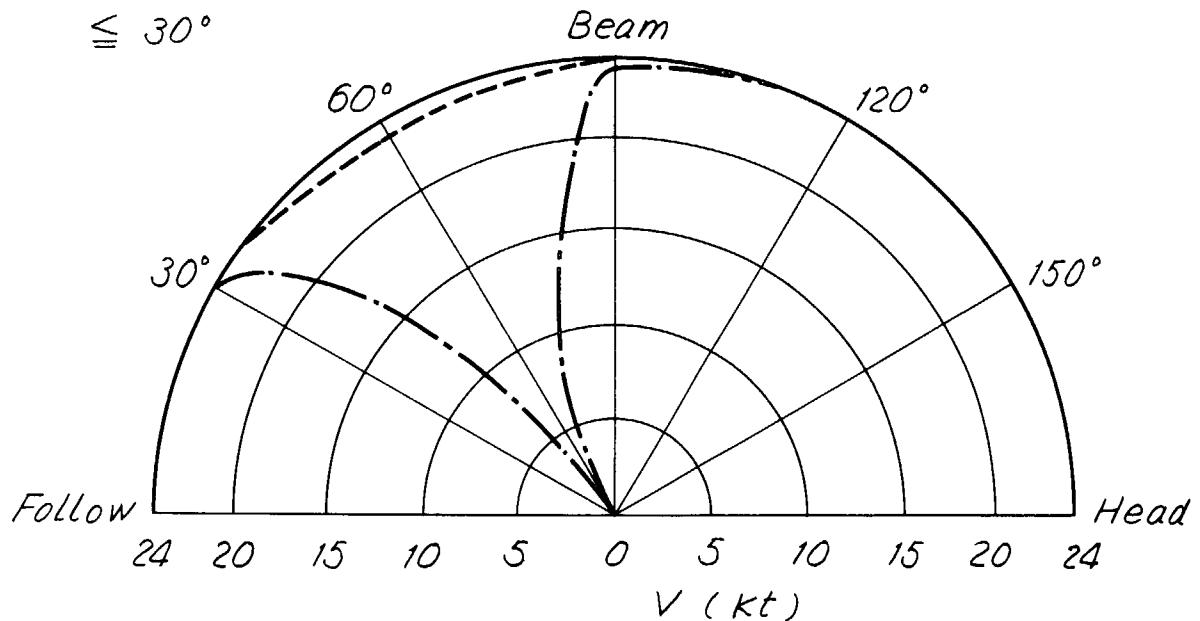


Fig. 3.2.1. Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves
(Pitching Motion is Limited)

Beaufort 6 8 10

Significant Double Amp



Significant Double Amp.

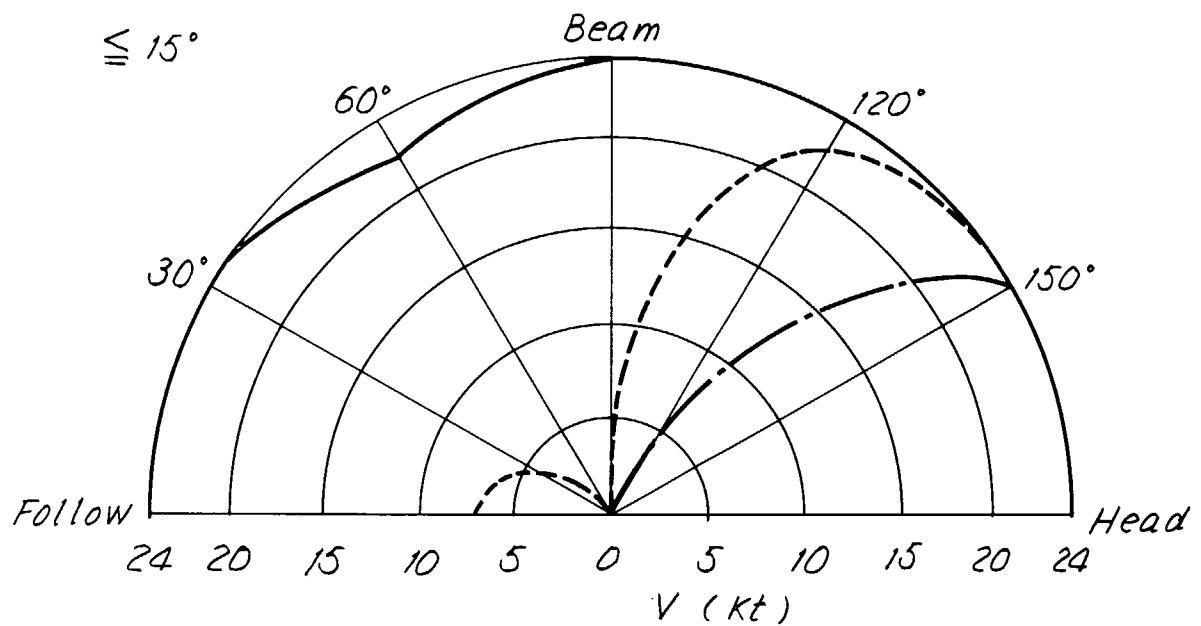


Fig. 3.2.2. Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves
(Rolling Motion is Limited)

Beaufort

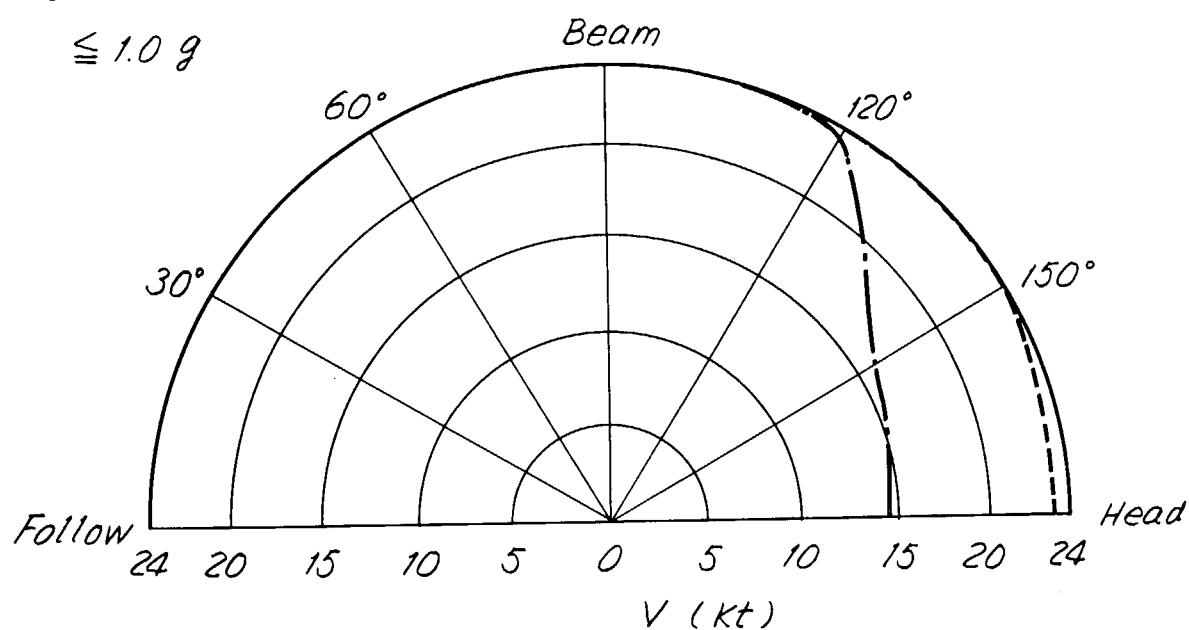
6

8

10

Significant Double Amp.

$\leq 1.0 g$



Significant Double Amp.

$\leq 0.5 g$

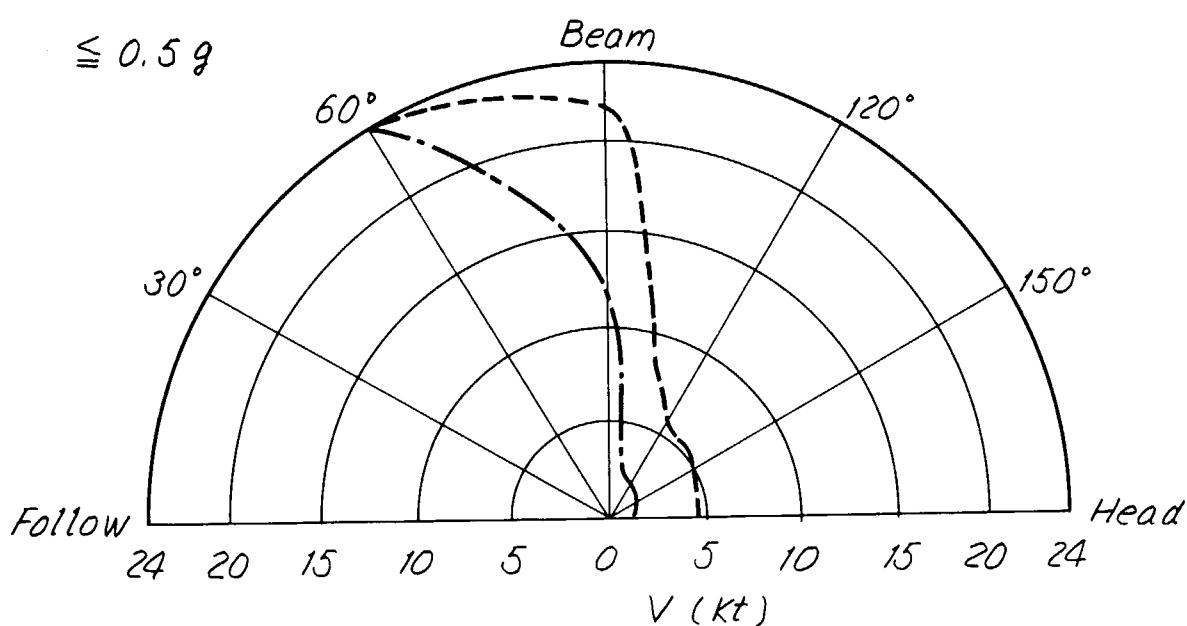


Fig. 3.2.3. Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves
(Vertical Acceleration at F.P. is Limited)

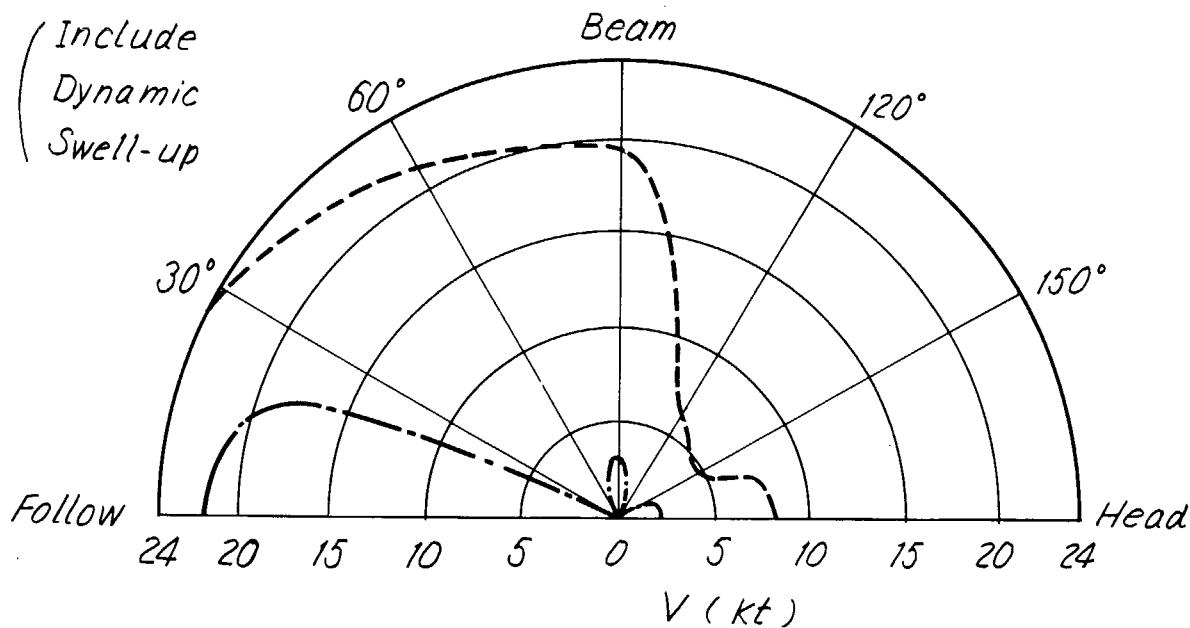
Beaufort

6

8

10

Probability ≤ 0.01



Probability ≤ 0.01

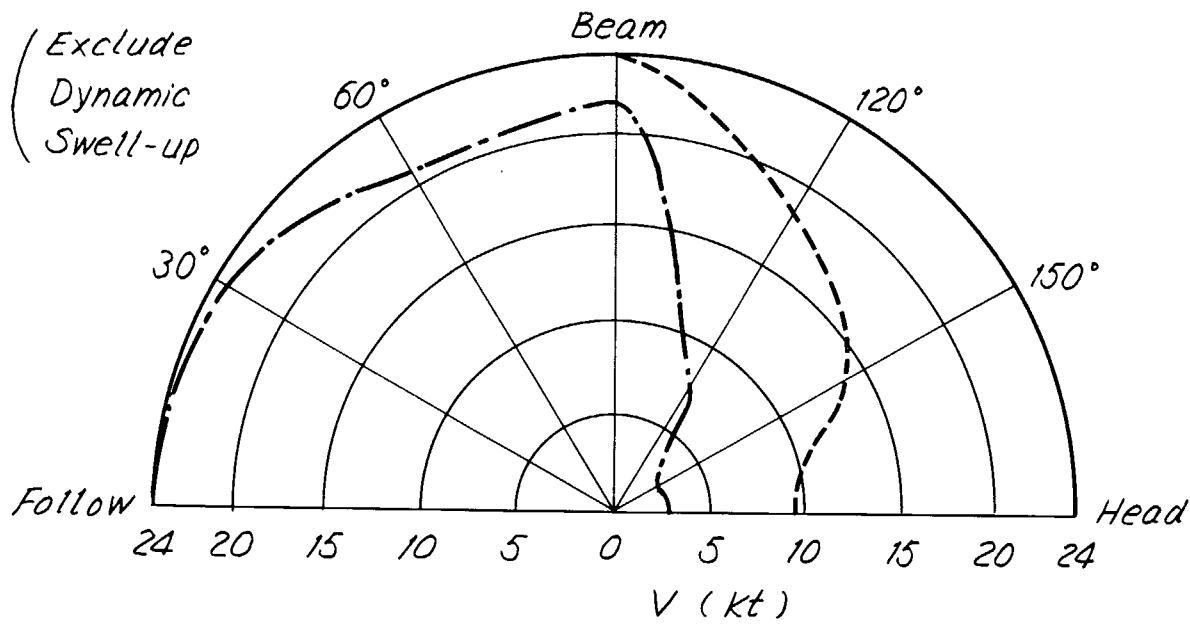


Fig. 3.2.4. Ship Speed in Short-crested Irregular Waves

(Probability of Deck-wetness at S.S. 9½ is Limited)

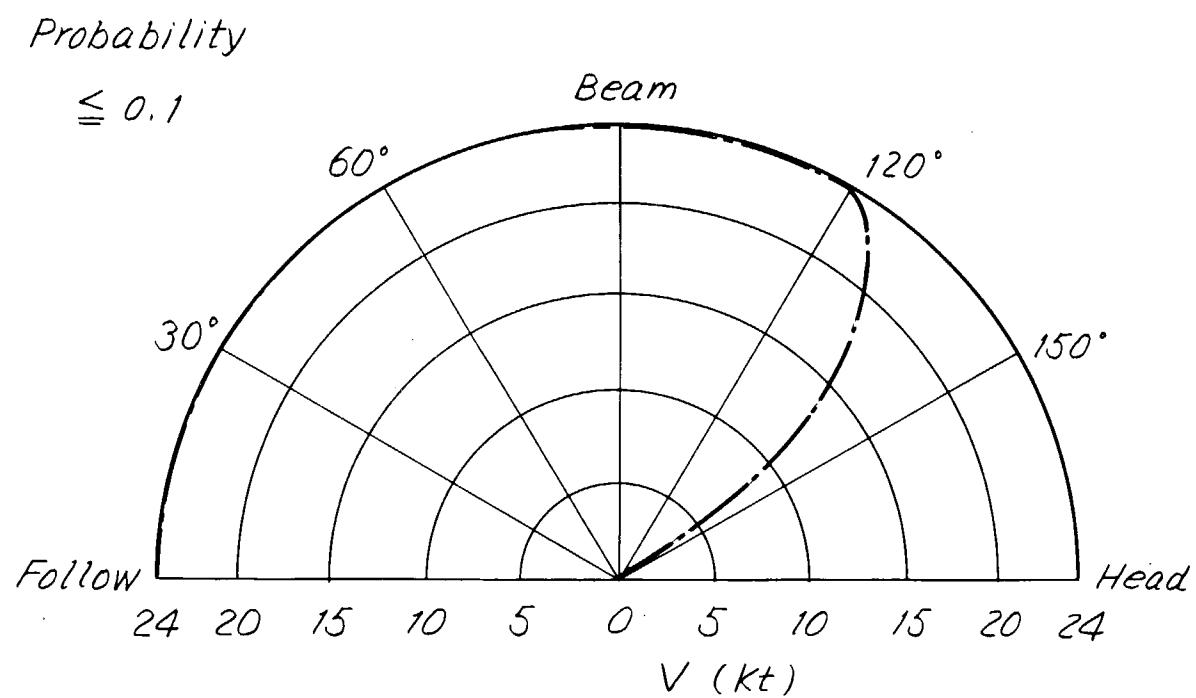
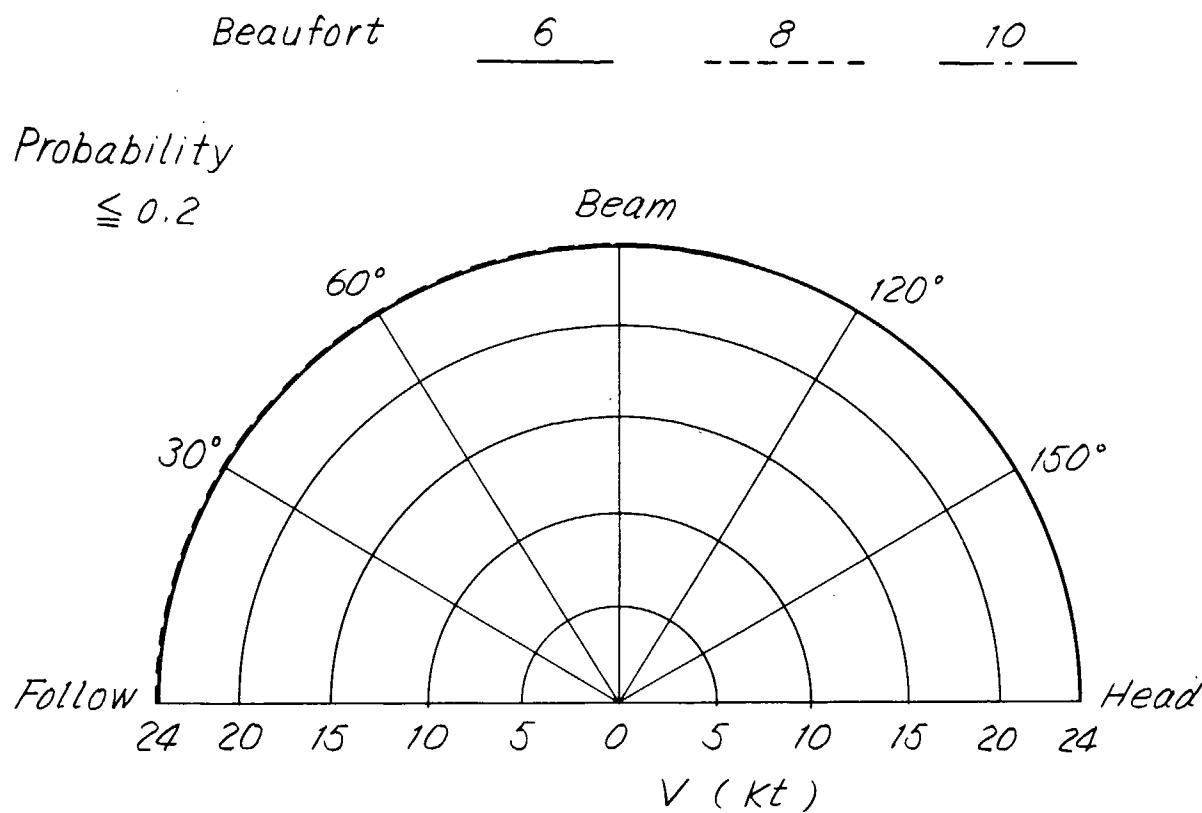


Fig. 3.2.5. Ship Speed in Short-Crested Irregular Waves
(Probability of Propeller $\frac{1}{3}$ D Emersion is Limited)

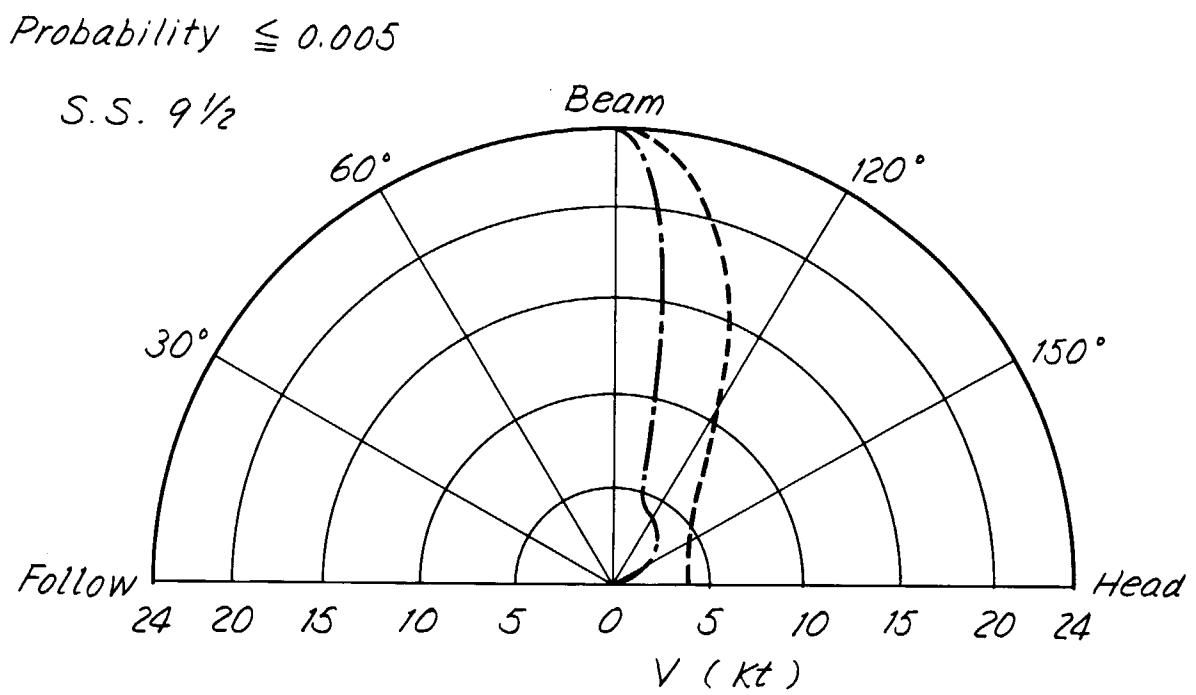
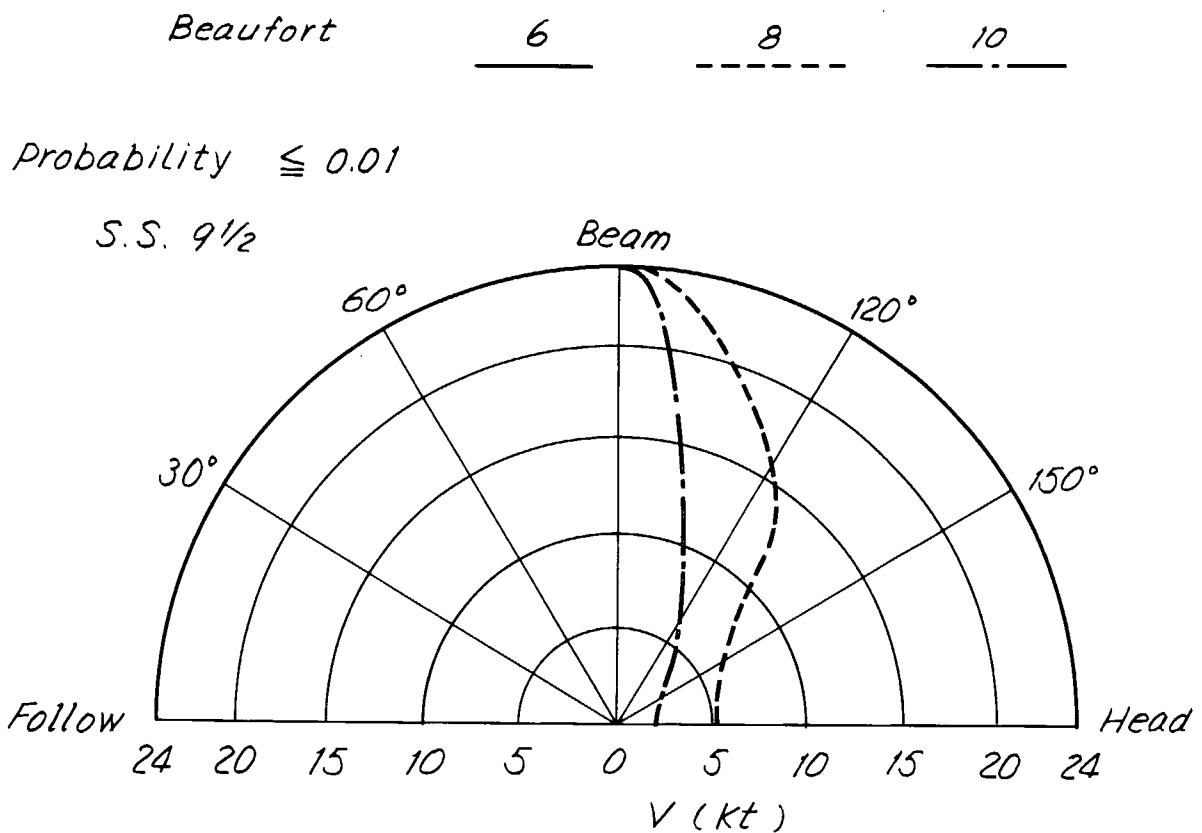


Fig. 3.2.6. Ship Speed in Short - Crested Irregular Waves
(Probability of Slamming is Limited)

3.3 短期不規則海面での操船法

耐航性能の諸要素のうち代表的なものについて、Beaufort 8とBeaufort 7の短波頂不規則海面での有義値、確率を計算したものをFig. 3.3.1～Fig. 3.3.10に示す。

正面波の状態で激しい縦揺を起した場合、変針や減速によつて多少揺れは少なくなるが、その減り方は案外少ない。しかし操船者が言う激しい縦揺という言葉に、縦揺にもとづく上下加速度も加味されているのであれば、Fig. 3.3.5で分るよう、船速を落とすことは効果が大きい。

横揺は斜め追い波状態で激しいと言えるが、その様子は船速によつて複雑に変化しており、船速を落とせばかえつて揺れが大きくなる場合もあるので、揺れを減らすにはまず変針するのが良い。

プロペラ直径の $1/3$ が露出する確率は正面波と追い波の場合にもつとも高く、横波状態では急激に低くなつている。また全体としてある程度以上の船速で航走している方がプロペラ露出確率が低い。しかし正面波の状態で $F_n = 0.3$ (約 24 kt) で航走する場合はプロペラ露出確率は、 $F_n = 0.25$ や 0.20 の場合と比べて大変高くなつており、このような状態の場合は減速することがプロペラレーシングを避けるのに効果がある。

$F_n = 0.25$ や 0.20 の状態でレーシングを起す場合は変針するのがよい。

スラミングは正面波以外では、大変確率が低くなつておらず、また、減速の効果も大きい。したがつて、スラミングを避けるのには、変針、減速ともに有効である。

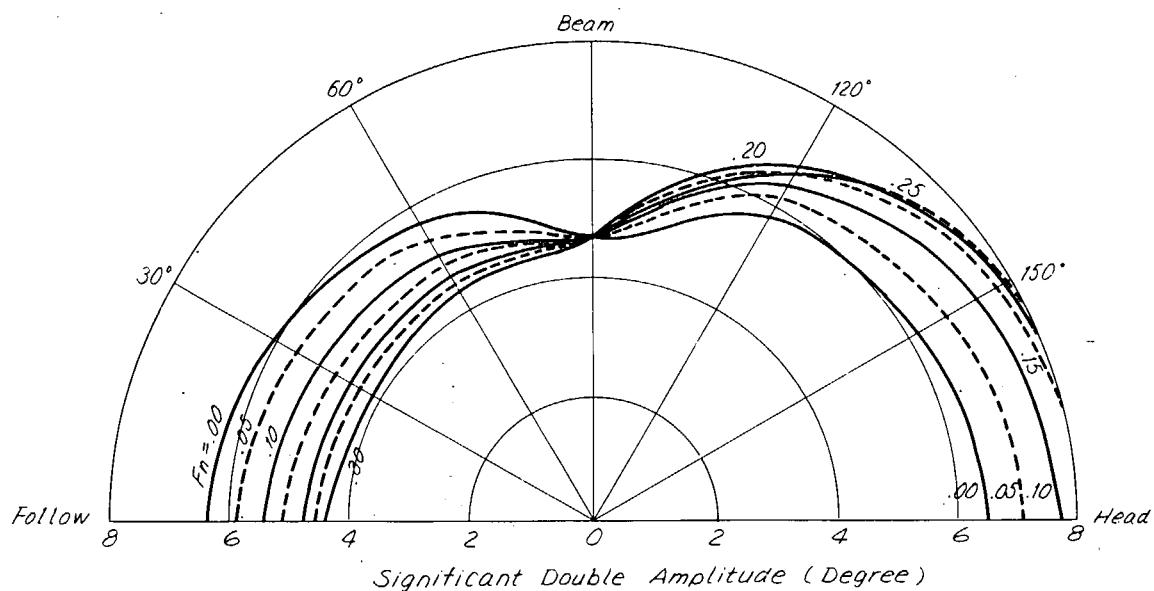


Fig. 3.3.1. Pitch

(Beaufort 8. Short-Crested Irregular Waves)

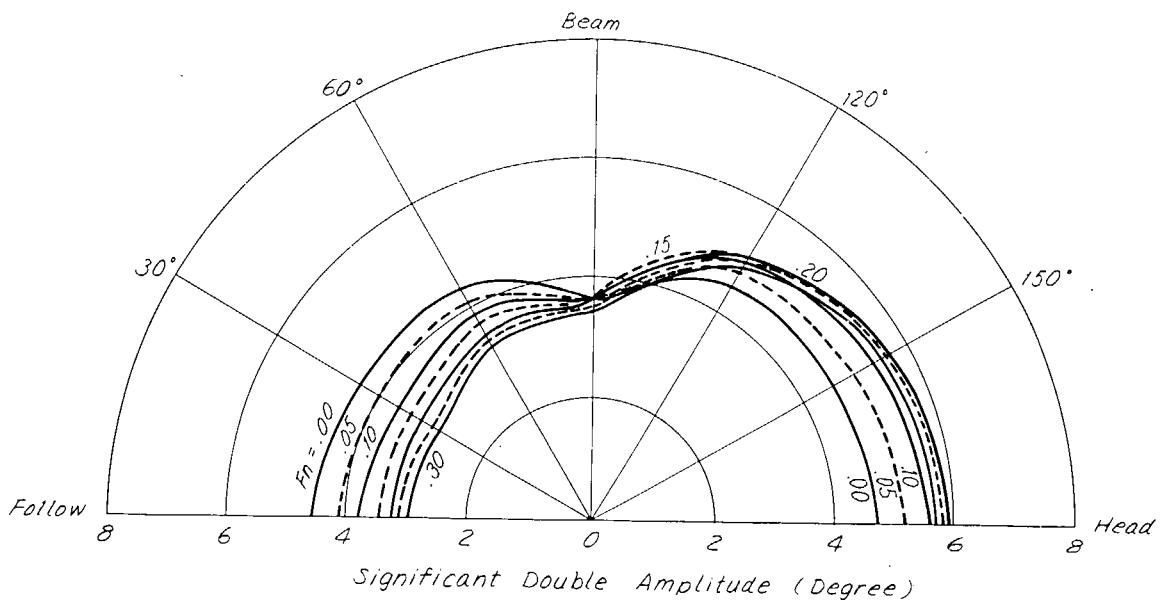


Fig. 3.3.2. Pitch

(Beaufort 7, Short-crested Irregular Waves)

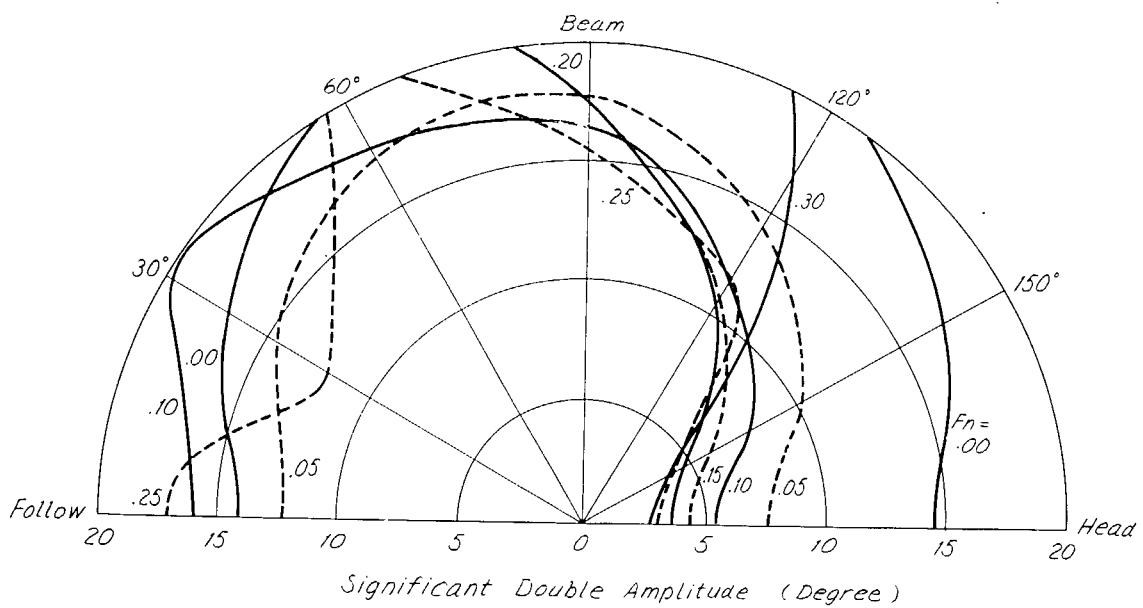


Fig. 3.3.3. Roll

(Beaufort 8, Short - crested Irregular Waves)

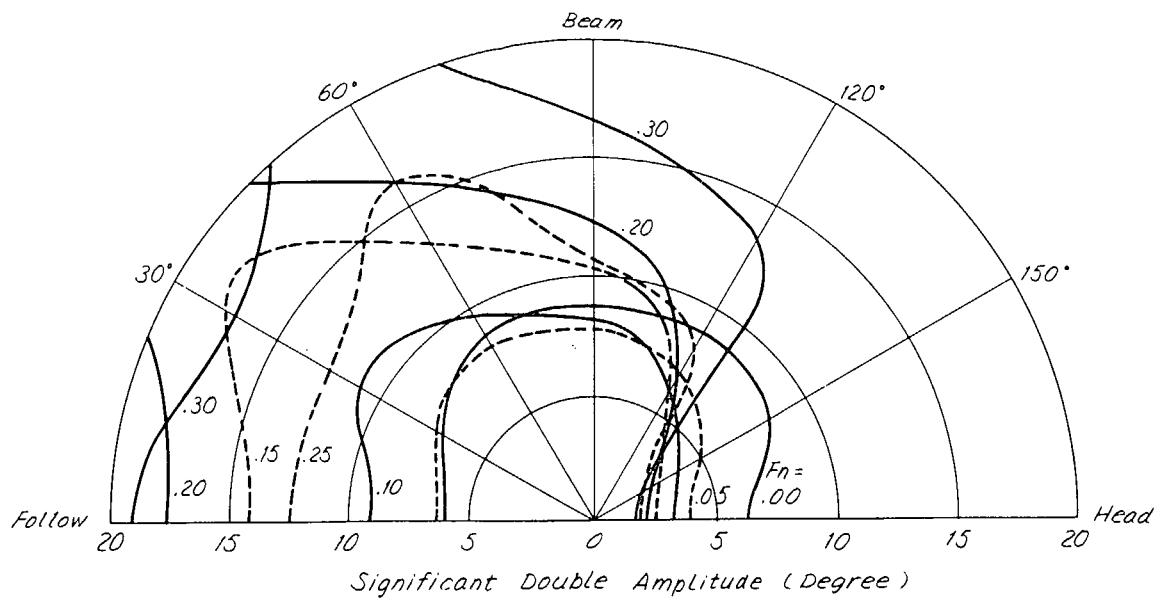


Fig. 3.3.4. Roll

(Beaufort 7. Short-crested Irregular Waves)

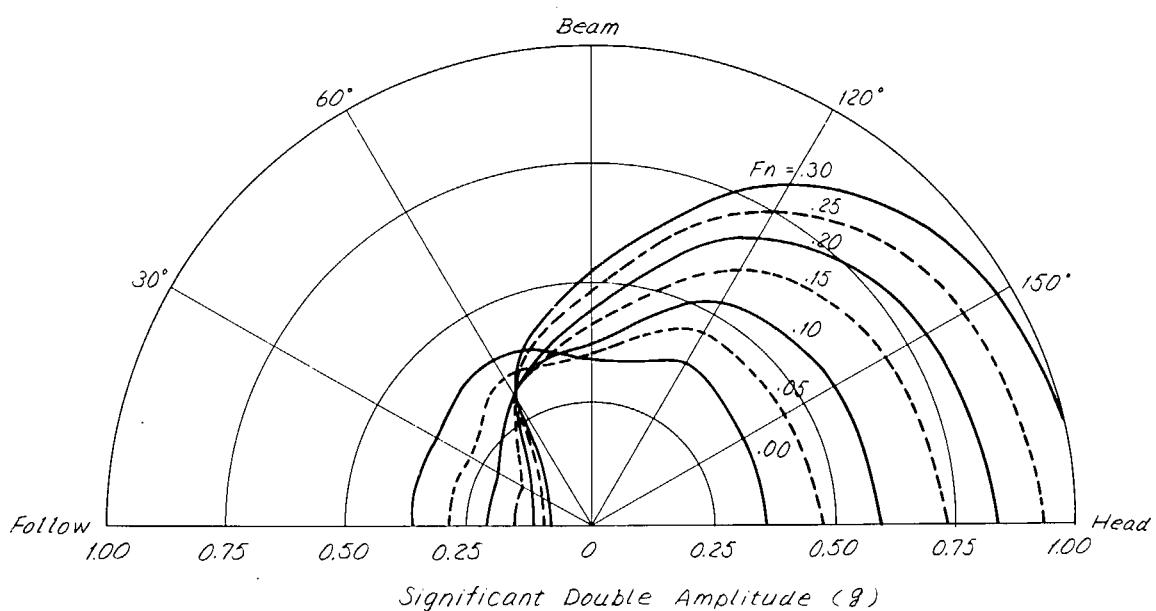


Fig. 3.3.5 Vertical Acceleration at F.P.

(Beaufort 8. Short-Crested Irregular Waves)

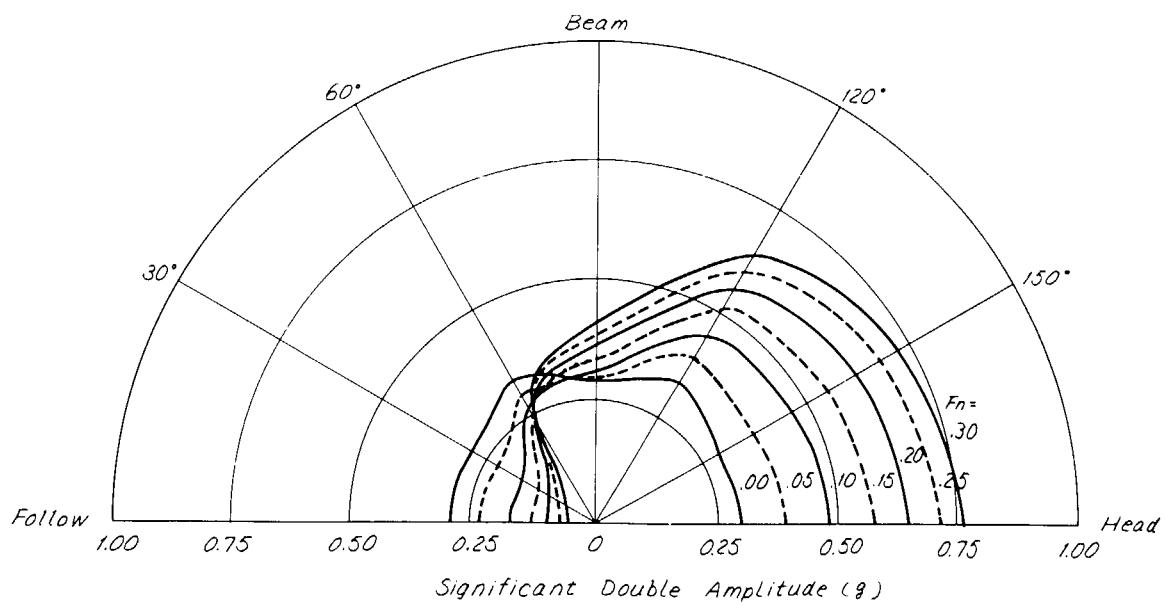


Fig. 3.3.6. Vertical Acceleration at F.P.
(Beaufort 7. Short-Crested Irregular Waves.)

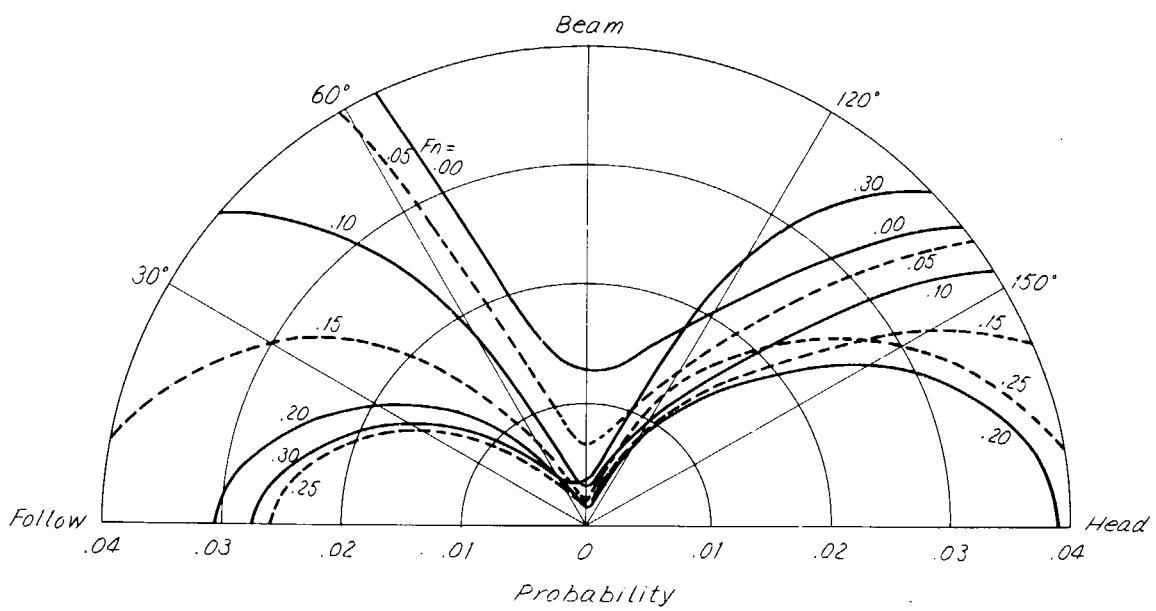


Fig. 3.3.7. Propeller Emerson
Probability of propeller $1/3$ D Emerson,
Beaufort 8. Short-Crested Irregular Waves.

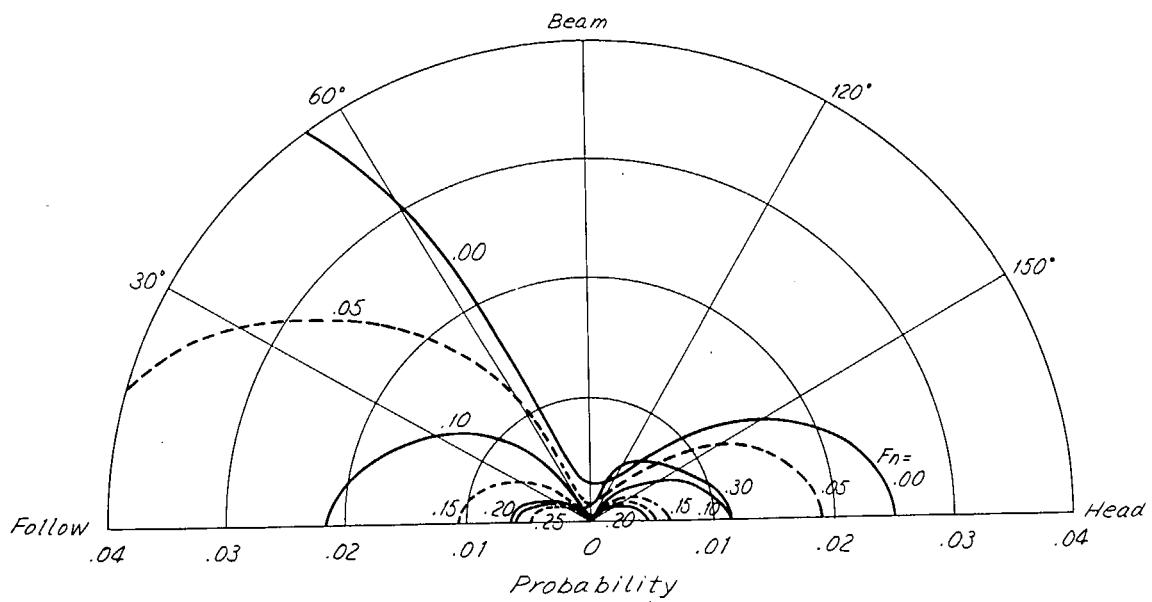


Fig. 3.3.8 Propeller Emersion

Probability of Propeller 1/3 D Emersion,
Beaufort 7, Short-Crested Irregular Waves.

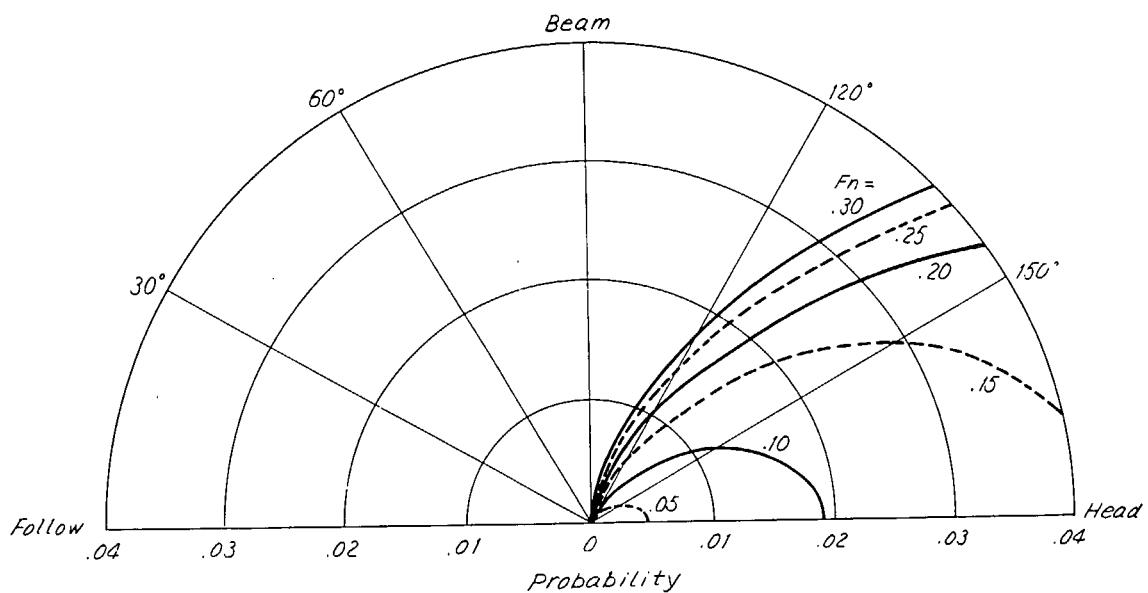


Fig. 3.3.9 Slamming

Probability of Slamming
Beaufort 8, Short-Crested Irregular Waves

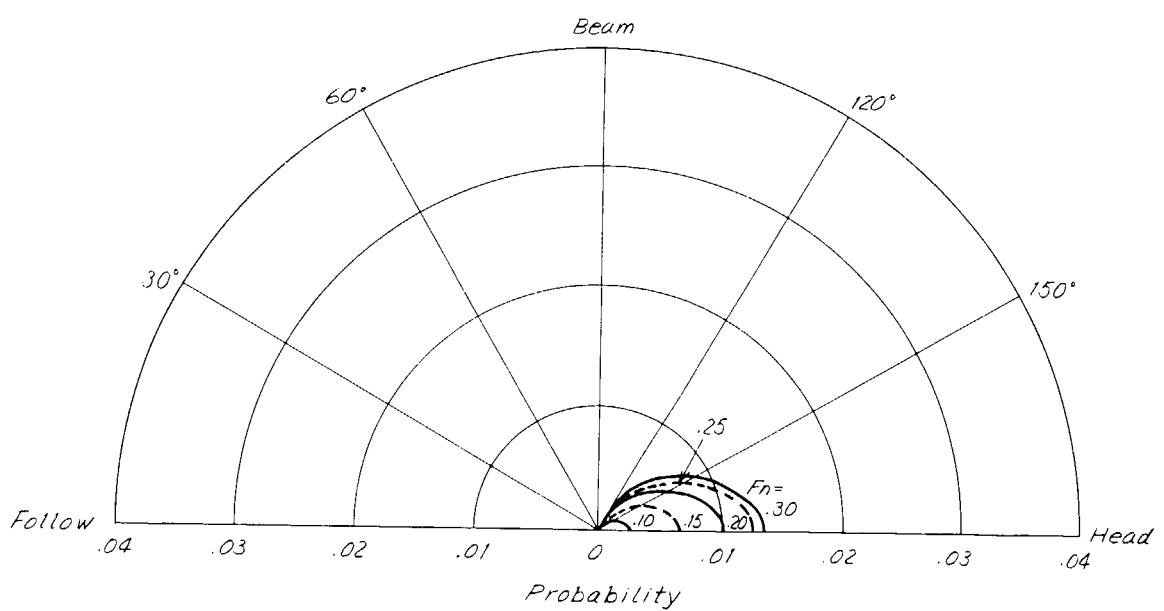


Fig. 3.3.10. Slamming

Probability of Slamming,
Beaufort 7. Short-Crested Irregular Waves

4. 最適航路設定の 1 計算

4.1 計 算 法

地球の半径を R とし Fig. 4.1.1 の座標系を用いると、船の軌跡は次のように表わせる。

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d\phi}{dt} = \frac{V \cos \phi}{R \cos \theta} \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{V \sin \phi}{R} \end{array} \right\} \quad (4.1.1)$$

ここで船速 V は有義波高 $H_{1/3}$ 、平均波周期 T_W 、波の方位 μ_W 、船の方位 ϕ の関数、したがつて経度 ϕ 、緯度 θ 、時間 t 、船の方位 ϕ の関数と考えることができる。すなわち

$$V = f(H_{1/3}, T_W, \mu_W, \phi) = g(\phi, \theta, t, \phi) \quad (4.1.2)$$

出発点から目的地まで最短時間で航海することが最適化であるとするならば、Pontryagin の最大原理¹¹⁾により、次の式を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} & \frac{d\phi}{dt} + R \cdot \left\{ 2 \left(\frac{\partial V}{\partial \phi} \right)^2 + V^2 - V \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} \right\} \\ &= \sin \phi \cdot \left\{ V^2 \frac{\partial^2 V}{\partial \phi \partial \theta} - 2V \frac{\partial V}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial V}{\partial \theta} + \frac{V^2}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial V}{\partial \phi} - V^2 \tan \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial \phi} \right\} \\ &+ \cos \phi \cdot \left\{ \frac{V^2}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial \phi \partial \phi} - \frac{2V}{\cos \theta} \cdot \frac{\partial V}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial V}{\partial \phi} - V^2 \frac{\partial V}{\partial \theta} - V^3 \tan \theta \right\} \\ &+ R \left(V \frac{\partial^2 V}{\partial \phi \partial t} - \frac{\partial V}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (4.1.3)$$

Marks¹¹⁾等は、実船の実績から船速を有義波高および波と船との出会い角の関数として式で表わし、その式を用いた場合の最適航路計算を行なっているが、ここでは一般的の場合について求めた (4.1.3) 式を用いることにし、船速は 3.1 節の抵抗増加による速度低下、および 3.2 節の危険回避による速度低下によつて定まる値を用いることとする。

Runge-Kutta 法などを用いれば (4.1.1) 式、(4.1.3) 式の連立方程式を解いて船の軌跡を求めることができる。

もし船速 V が定数であれば、連立方程式の解は、出発点の位置 (ϕ, θ) と出発点での船の方向 ϕ によつて定まる大圈航路となる。 V が定数でない場合は、出発点での船の方位 ϕ を種々変化させて連立方程式を解き船の軌跡を求め、そのうち目的地に到達したものを解とする。

4.2 計 算 例

最適航路の計算を行なうため Fig. 4.2.1 のような海象を仮定した。これは最適航路計算法の有効性を確かめるために任意に設定したものであり、北太平洋の平均的な海象状態を表わしているわけではない。

以下の計算では、地球の半径を 3438.5 海里、東京の位置を $(140^\circ E, 35^\circ N)$ 、ロサンゼルスの位置を $(120^\circ W, 34^\circ N)$ とする。

最適航路の計算は、抵抗増加による速度低下、いわゆる Nominal Loss of speed のみを考慮した

場合、船首の上下加速度の有義両振幅を 1 g および 0.8 g を制限した場合、抵抗増加と船首上下加速度を同時に考慮した場合の合計 4 状態について行なつた。その結果を大円航路を通る場合と比較して、Table 4.2.1、Fig. 4.2.2～Fig. 4.2.4 を示す。

Table 4.2.1.

Route	Due to Nominal Loss of Speed		Vert. acc. $\frac{1}{3}$ at F.P. $\leq 1.0\text{ g}$		Vert. acc $\frac{1}{3}$ at F.P. $\leq 0.8\text{ g}$		Due to Nominal Loss of Speed & Vertacc. $\frac{1}{3}$ at F.P. $\leq 0.8\text{ g}$	
	Optimum	Great Circle	Optimum	Great Circle	Optimum	Great Circle	Optimum	Great Circle
Total Cruising Time (Day : Hour)	8 : 10	8 : 16	8 : 13	9 : 18	8 : 18	13 : 22	8 : 19	13 : 22
Total Cruising Distance (Nautical mile)	4765	4701	4913	4701	5045	4701	5044	4701
Average Speed (kt)	23.50	23.36	24.00	20.12	24.00	14.08	23.90	14.07

最適航路をすれば、航海距離は増えるが、平均速力を上げることができるため、結果的には、より短時間で目的地に達することができる。

上下加速度で速度制限をした場合の最適航路がかなり低緯度の所を通っているが、これは高緯度の所に激しい海象を設定していること、および、そこでの船と波との出会い角が正面に向い波状態に近いためである。

上下加速度の有義両振幅を 0.8 g にて制限した場合と、さらに Nominal loss of speed を考慮した場合とでは軌跡、航行時間ともほとんど変わらなかつた。これは Fig. 4.2.1 のような激しい海象では速度の制限が、ほとんど上下加速度できまり、Nominal loss of speed の影響が少ないのである。

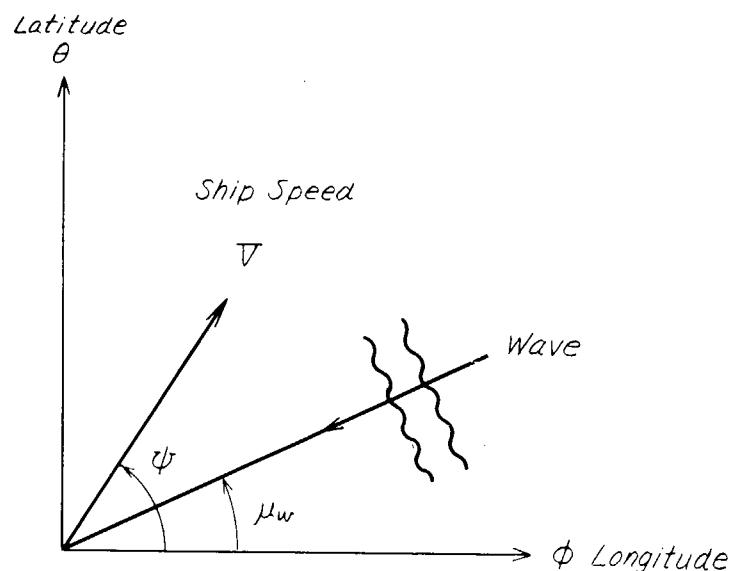


Fig. 4.1.1

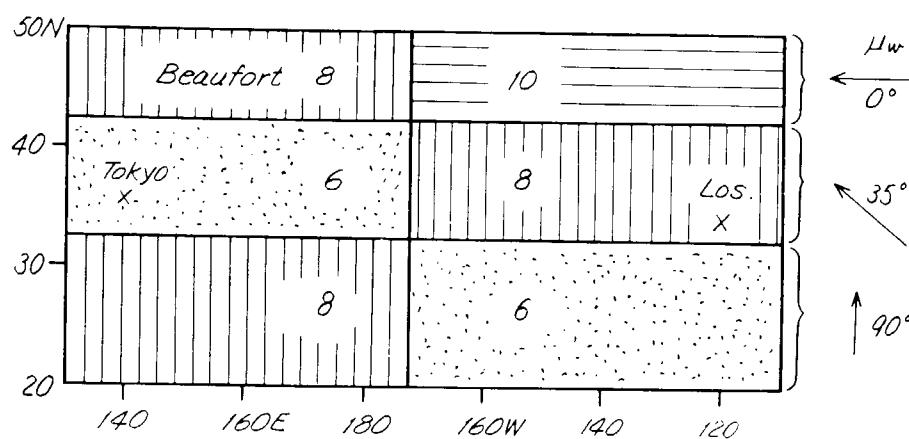
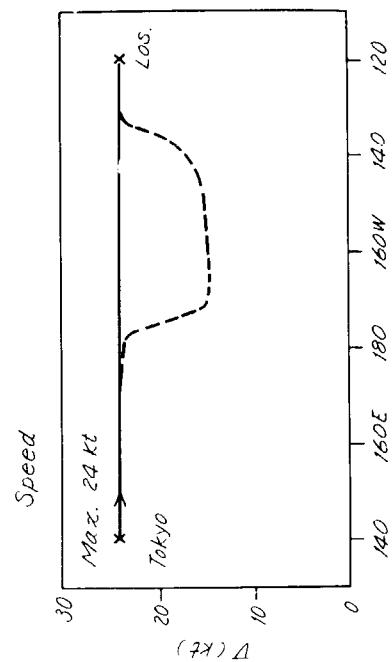
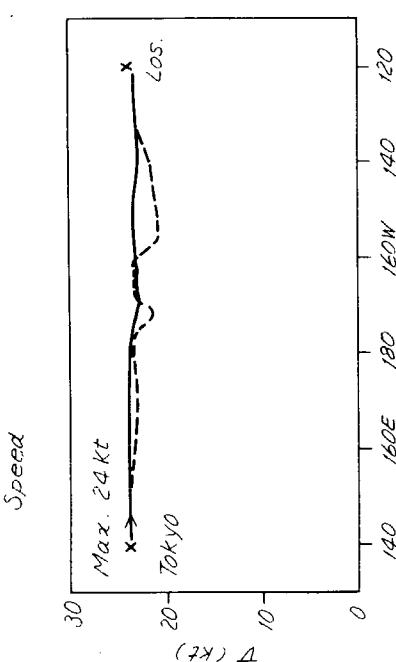
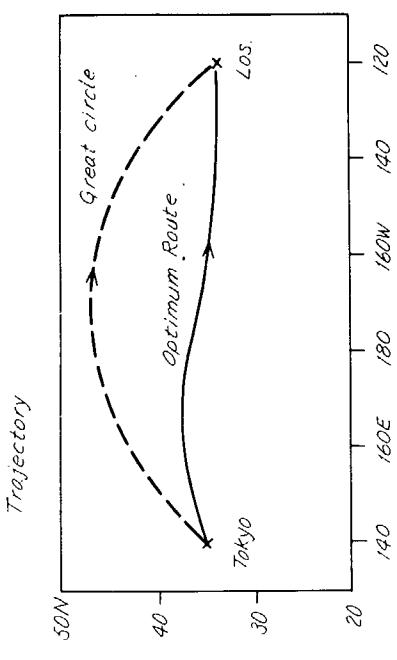
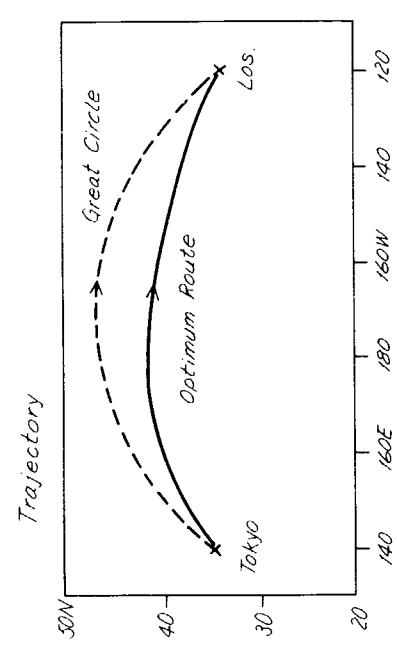
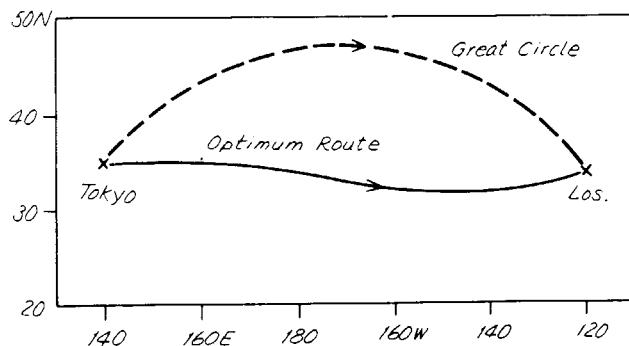


Fig. 4.2.1. Sea State



Trajectory



Speed

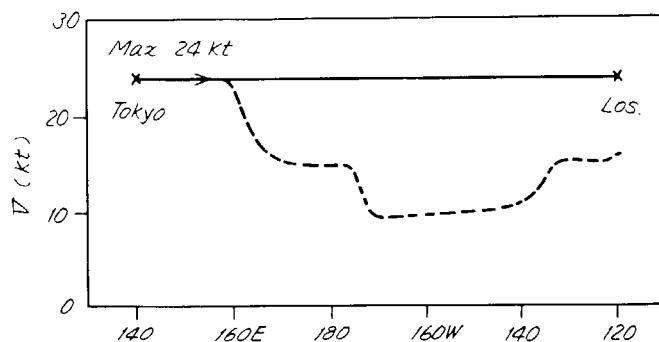


Fig. 4.2.4. Optimum Route

(Vert. Acc $\frac{1}{3}$ at F.P. $\leq 0.8g$
Nominal Loss of Speed is Considered)

5. やせ型船の動揺特性

コンテナ船等のいわゆるやせた船型の動揺特性を知るために、船体に働く流体力を計算によつて求め、タンカーや船型等の肥えた船型との違いを調べた。船体運動は Sway, Yaw, Roll の反対称運動に限り、計算はいわゆる Ordinary Strip Method によつた。

5.1 断面流体力係数

断面に働く流体力の一般的傾向をみるために Lewis form の流体力係数について次の2種類の比較を行なつた。

- (1) 半幅吃水比 H_0 が一定で面積係数 σ を変化させる。
- (2) σ が一定で H_0 を変える。

この結果を Fig. 5.1.1～Fig. 5.1.6 に示す。Sway の付加質量係数 K_S については明らかにやせ型断面の方が大きいことはわかるが、その他については一般的傾向はつかめない。

5.2 Lewis Form 船型に働く流体力

Lewis form 断面を有する前後対称な船を数種類想定し、それらに働く流体力を求め、次の4種類の比較を行なつた。

- (1) H_0 一定 (1.0) の柱状船で σ を変える。
- (2) " (0.6) " "
- (3) σ 一定 (0.9) の柱状船で H_0 を変える。
- (4) 船長方向に H_0 を変えたやせ型船 ($H_0 = 1 - x^2$, $\sigma = 0.9$ 以下 Y 船と称す) と、柱状船の比較。

吃水はすべて $L/20$ とし、重心は 0 点にあると仮定した。

船体の運動方程式は Sway, Yaw, Roll について次式で表わされる。

記号は文献(1)による。

$$\begin{pmatrix} a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,9} \\ a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,9} \\ a_{3,1}, a_{3,2}, \dots, a_{3,9} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \ddot{\eta} \\ \dot{\eta} \\ \eta \\ \ddot{\phi} \\ \dot{\phi} \\ \phi \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\theta} \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F\eta \\ M\phi \\ M\theta \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

前後対称な船については、運動方程式の係数が次のように簡単化される。

$$a_{1,1} = \frac{W}{g} + \int \rho S_y d x = \frac{W}{g} + \Delta a_{1,1}, \quad a_{1,2} = \int \rho N_y d x$$

$$a_{1,3} = a_{1,4} = 0, \quad a_{1,5} = -V \Delta a_{1,1}, \quad a_{1,6} = -V \cdot a_{1,2}$$

$$a_{1,7} = \int \rho S_y (Z_G - l\eta) d x, \quad a_{1,8} = \int \rho N_y (Z_G - l\eta) d x$$

$$a_{1,9} = 0, \quad a_{2,1} = 0, \quad a_{2,2} = +V \cdot \Delta a_{1,1}, \quad a_{2,3} = 0, \quad a_{2,6} = -V^2 \Delta a_{1,1}$$

$$\left. \begin{aligned}
a_{24} &= I \phi / g + \int \rho S_y (x - x_G)^2 dx = I \phi / g + \Delta a_{24}, \quad a_{27} = 0 \\
a_{25} &= \int \rho N_y (x - x_G)^2 dx, \quad a_{28} = V \cdot a_{17}, \quad a_{29} = 0, \quad a_{31} = a_{17}, \quad a_{32} = a_{18} \\
a_{33} &= 0, \quad a_{34} = 0, \quad a_{35} = -V a_{17}, \quad a_{36} = -V a_{18}, \quad a_{39} = W \cdot m t \\
a_{37} &= I \theta / g + \int \rho i dx = I \theta / g + \Delta a_{37}, \quad a_{38} = \int \rho N_y (Z_G - l_m)^2 dx
\end{aligned} \right\}$$

(5. 2)

したがつて各運動の主要項 a_{11} , a_{12} , a_{24} , a_{25} , a_{37} , a_{38} と連成項 a_{17} , a_{18} がわかれれば

Radiation force の大略が知れる。係数を次のように無次元化し、その計算値を Fig. 5.2.1 ~ 5.2.8 に示す。

$$\left. \begin{aligned}
\hat{a}_{11} &= a_{11} / \rho \nabla, \quad \hat{a}_{12} = a_{12} \cdot \sqrt{\frac{B}{2g}} / \rho \nabla, \quad \hat{a}_{17} = a_{17} / \rho \nabla B \\
\hat{a}_{18} &= a_{18} \sqrt{\frac{B}{2g}} / \rho \nabla B, \quad \hat{\Delta a}_{24} = \Delta a_{24} / \rho \nabla L^2, \quad \hat{a}_{25} = a_{25} \sqrt{\frac{B}{2g}} / \rho L^2 \\
\hat{\Delta a}_{37} &= \Delta a_{37} / \rho \nabla B^2, \quad \hat{a}_{38} = a_{38} \sqrt{\frac{B}{2g}} / \rho B^2
\end{aligned} \right\}$$

(5. 3)

波浪外力の無次元化は次式による。

$$\left. \begin{aligned}
\bar{F}_\eta &= F_\eta / (\rho g \nabla \cdot 2\pi h_0 / \lambda) \\
\hat{M}_\phi &= |M_\phi| / (\rho g \nabla L \cdot 2\pi h_0 / \lambda) \\
\hat{M}_\theta &= |M_\theta| / (\rho g \nabla B \cdot 2\pi h_0 / \lambda)
\end{aligned} \right\}$$

(5. 4)

Fig. 5.2.9 ~ Fig. 5.2.26 に $F_n = 0$ と 0.3 について求めた波浪外力の比較を示す。やせ型船型は一般に、Radiation force、波浪外力ともに大きい。

Roll の Damping force は、Bilge keel による効果を加味すれば、やせ型と肥大型の差は大きくなないとと思われるが、外力は、やせ型の方がかなり大きい。これは Fig. 5.2.25, Fig. 5.2.26 から判るように Diffraction force による。Roll の外力と Damping force のこのような不均衡がやせ型船の特徴である。

5.3 2 軸船型についての断面流体力

船首尾部の複雑な断面形状について Source 法で計算し、従来の Lewis form 近似との比較を行なうとともに、1 軸、2 軸の違いが及ぼす影響を調べた。この計算プログラムは東大生研：前田助教授より借用した。計算された断面は Fig. 5.3.1 に示すとおりである。

- (1) S R 1 0 8 , $L/B = 7$ の 1 軸船の S q . S t . 3/4 の断面 —— S 7
- (2) S R 1 0 8 , $L/B = 8$ の 2 軸船の " " " —— T 8
- (3) T 8 の F . P . 断面

の 3 種である。Fig. 5.3.2 に船尾断面の比較を、Fig. 5.3.3 に船首断面での比較を示す。1 軸船断面の方が Sway に強く、Roll に弱い。Lewis form 近似で、2 軸断面を計算する際は、Bossing の面積を含めた方がよさそうである。船首断面を Lewis form 近似すると Sway damping As 以外の項は誤差が多い。

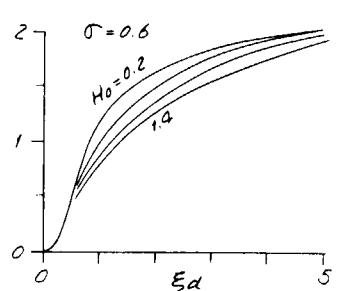
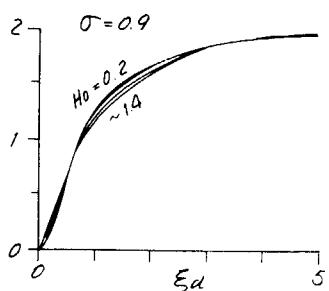
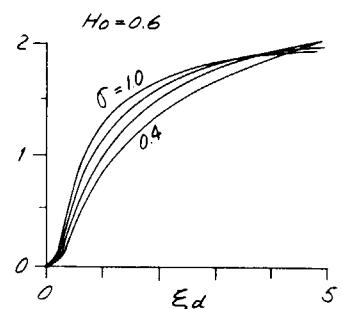
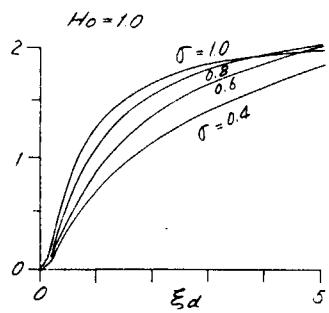


Fig. 5.1.1. Sway Damping As

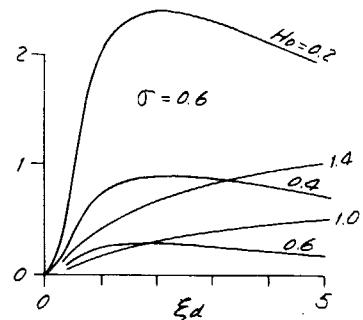
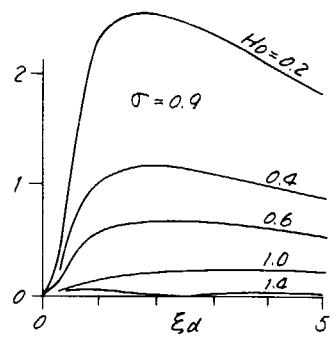
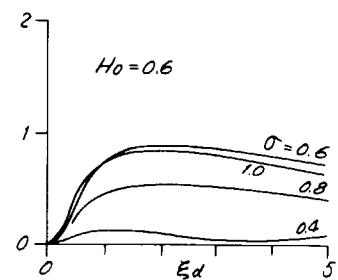
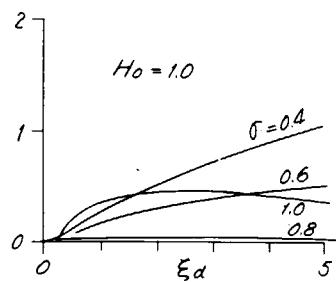


Fig. 5.12. Roll Damping AR

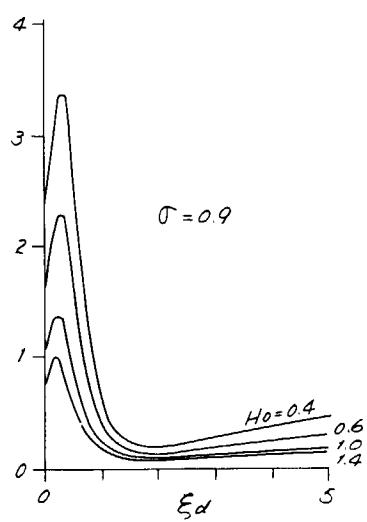
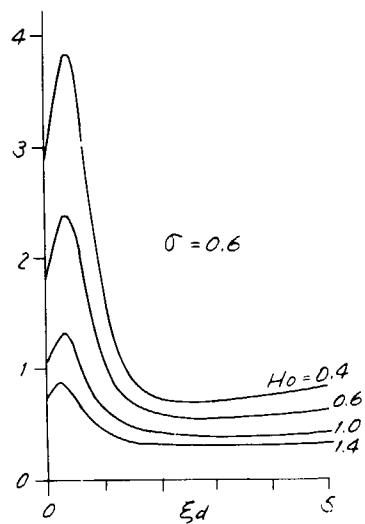
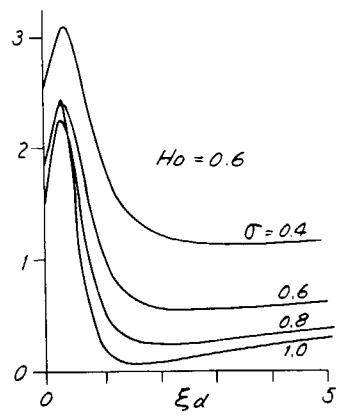
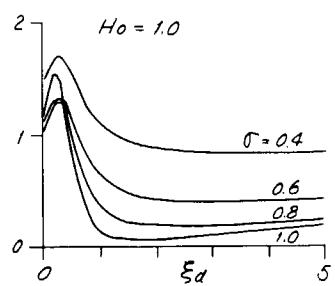


Fig. 5.1.3. Sway Added Mass Coefficient K_s

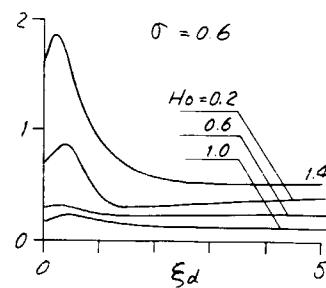
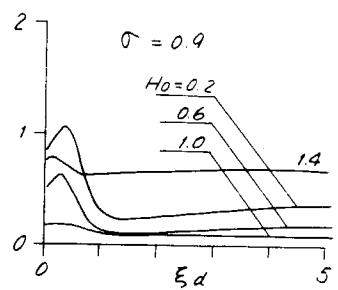
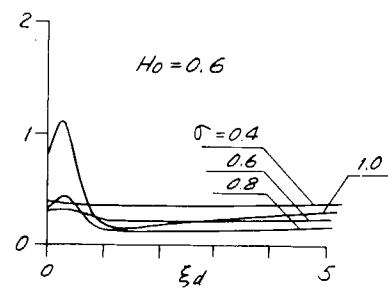
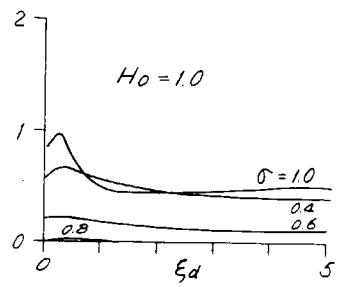


Fig. 5.1.4. K_R

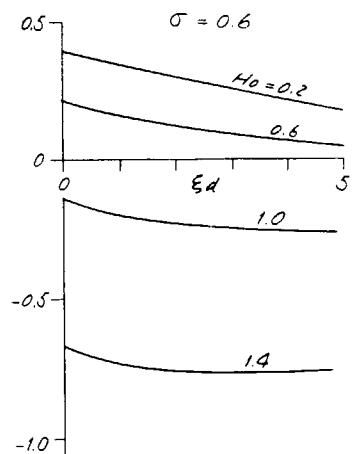
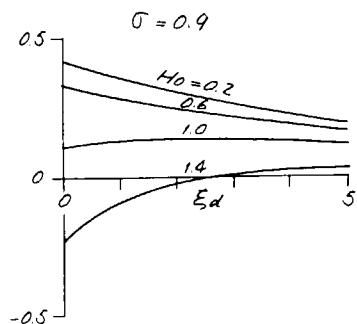
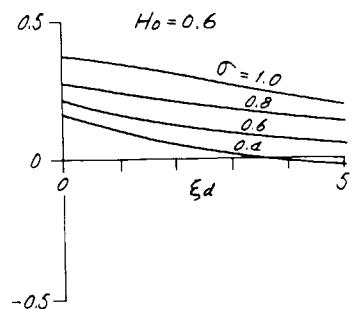
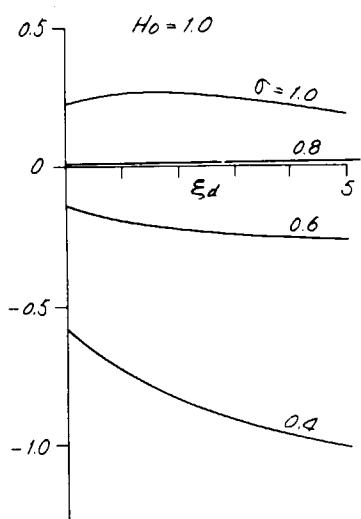


Fig. 5.1.5 ℓ_w/τ

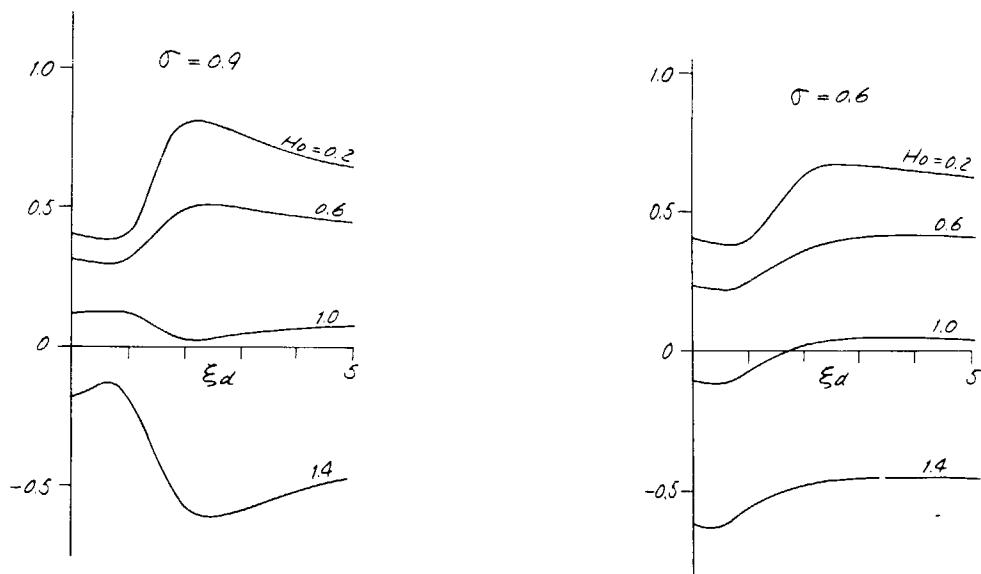
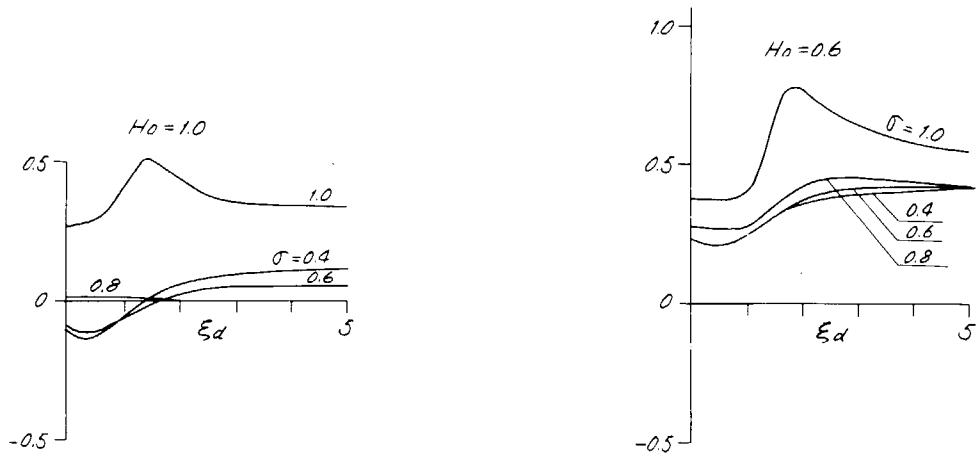


Fig. 5.16 ℓ_{SR}/T

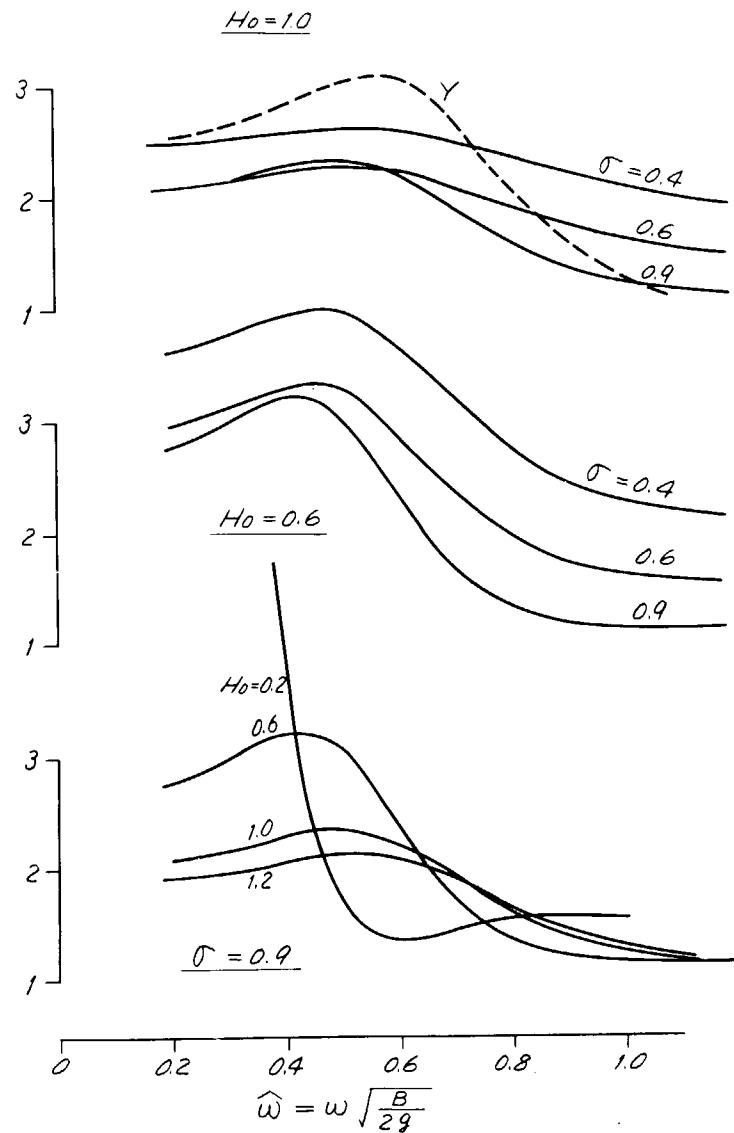


Fig. 5.2.1. Vertical Mass of Sway \hat{Q}_{11} .

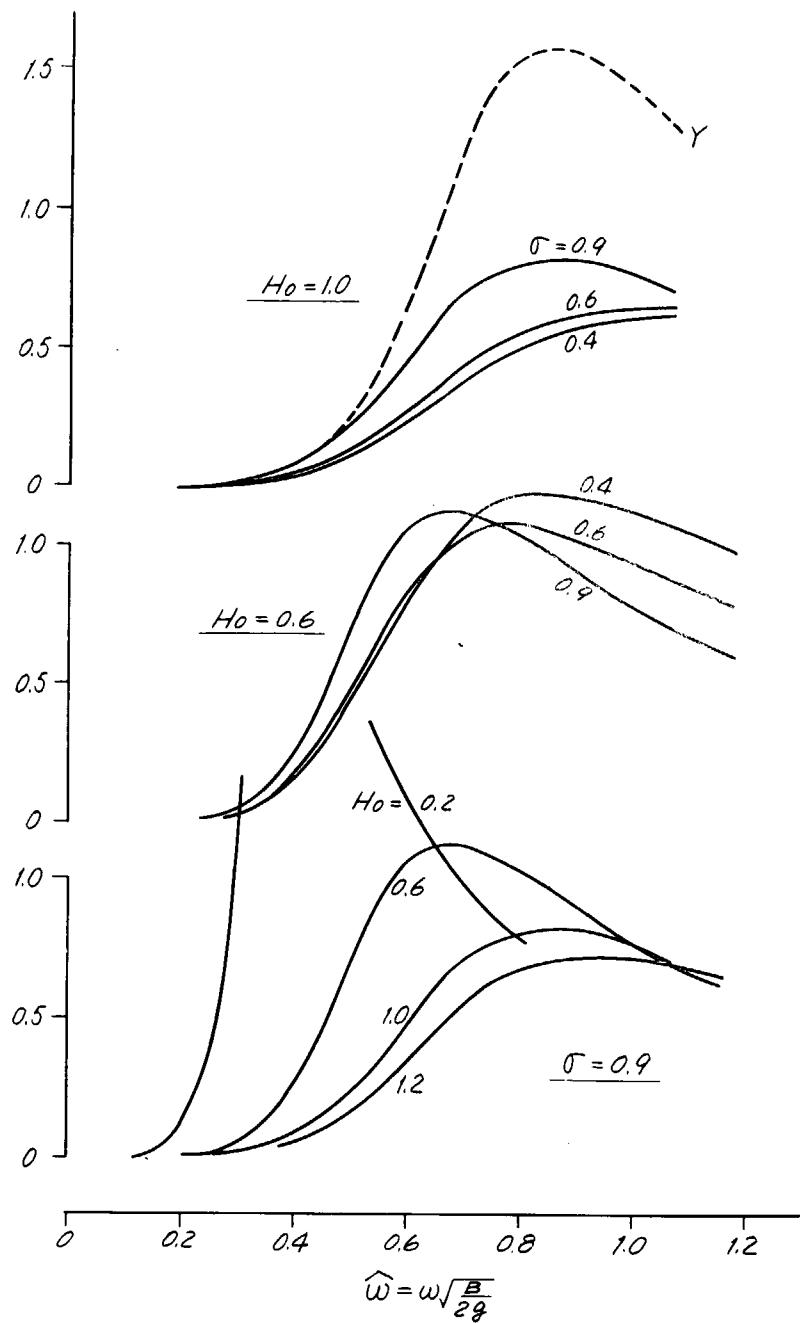


Fig. 5.2.2. Damping Force Coefficient of Sway $\hat{\alpha}_{12}$

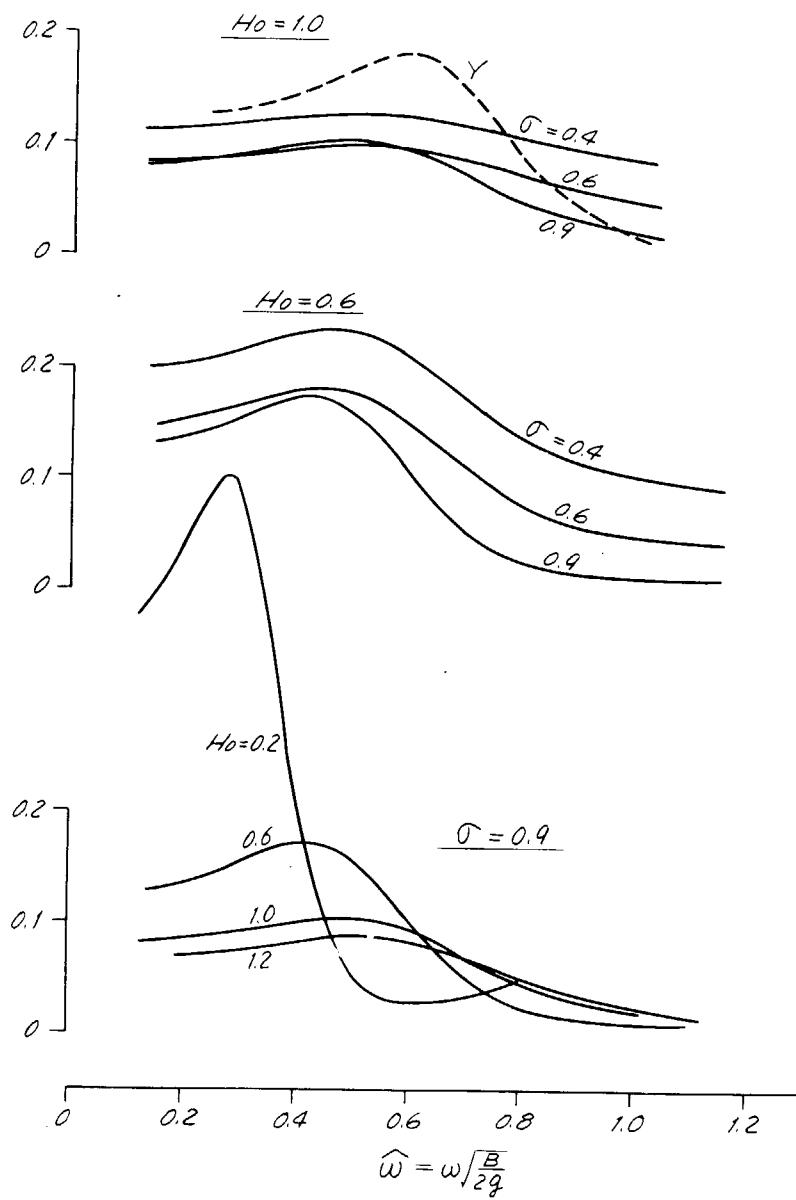


Fig. 5.2.3. Added Mass of Yaw $AQ24$

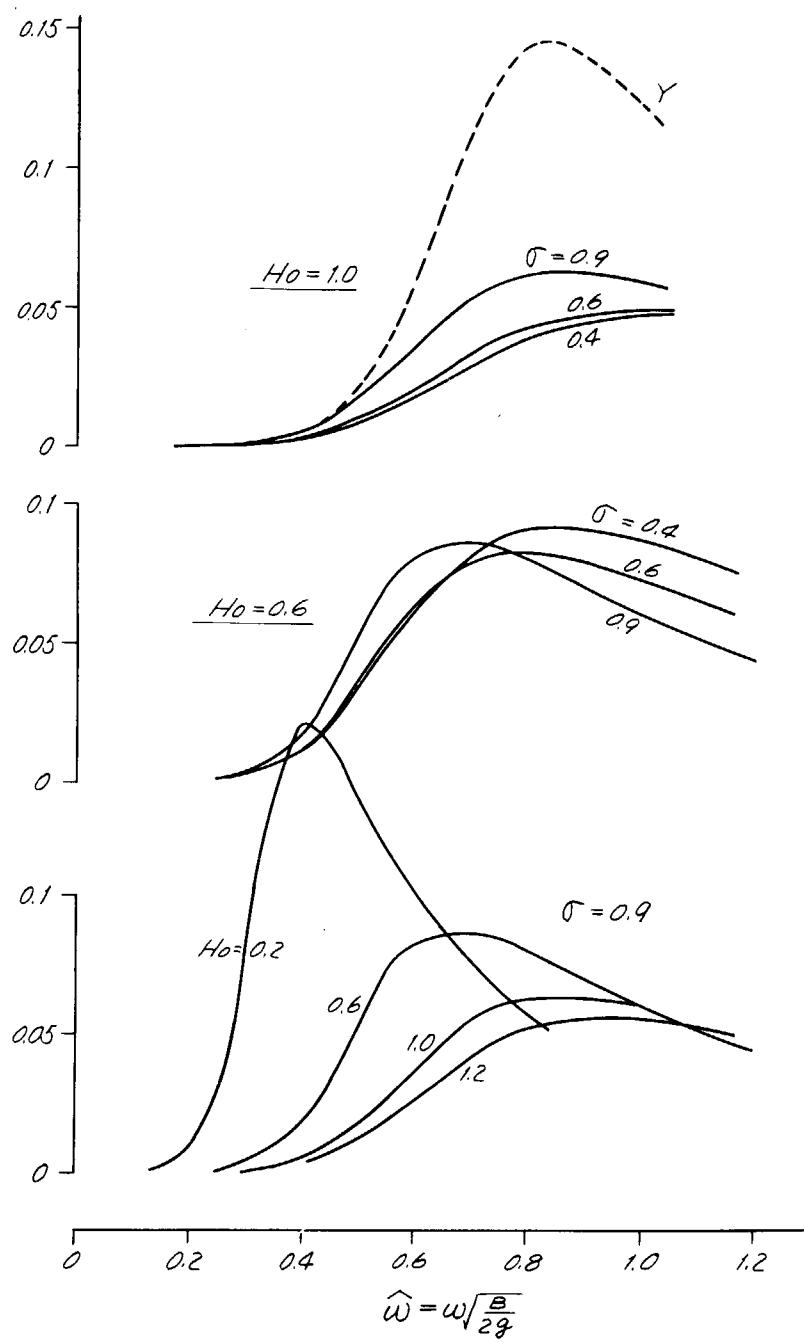


Fig. 5.2.4 Damping Force Coefficient of Yaw $\hat{\alpha}_{23}$

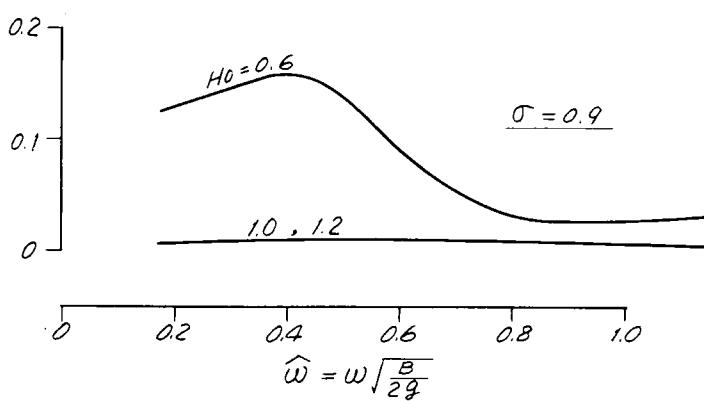
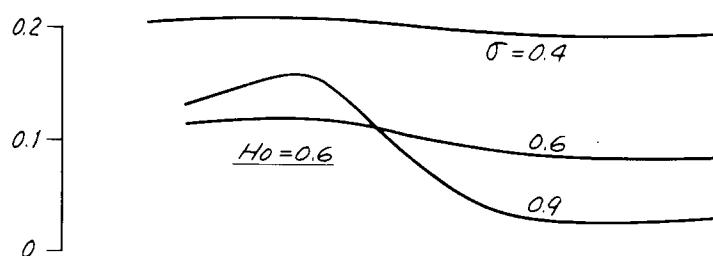
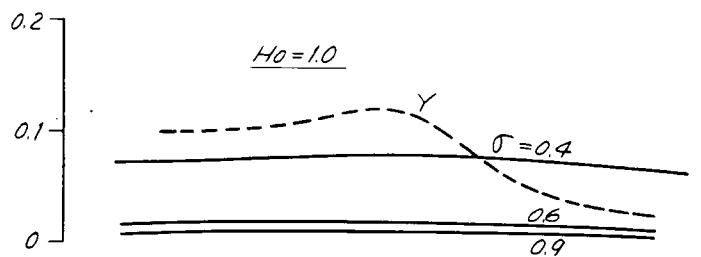


Fig. 5.2.5. Added Mass of Roll ΔQ_{37}

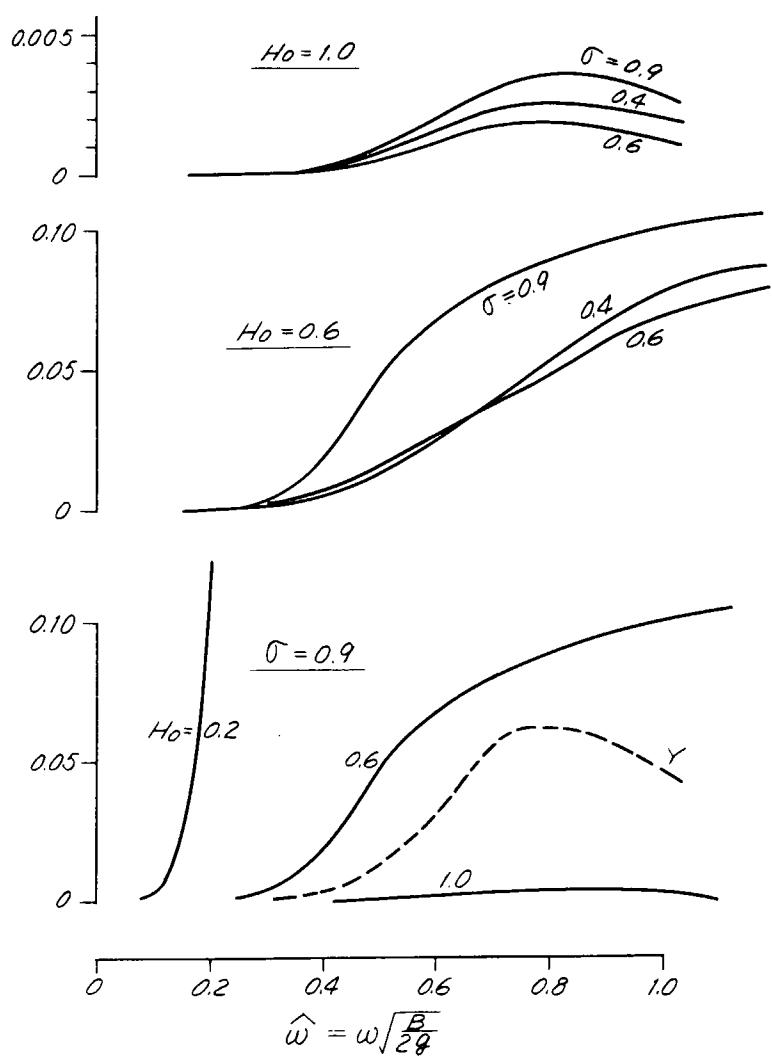


Fig. 5.2. 6. Damping Force Coefficient of Roll $\hat{\alpha}_{38}$

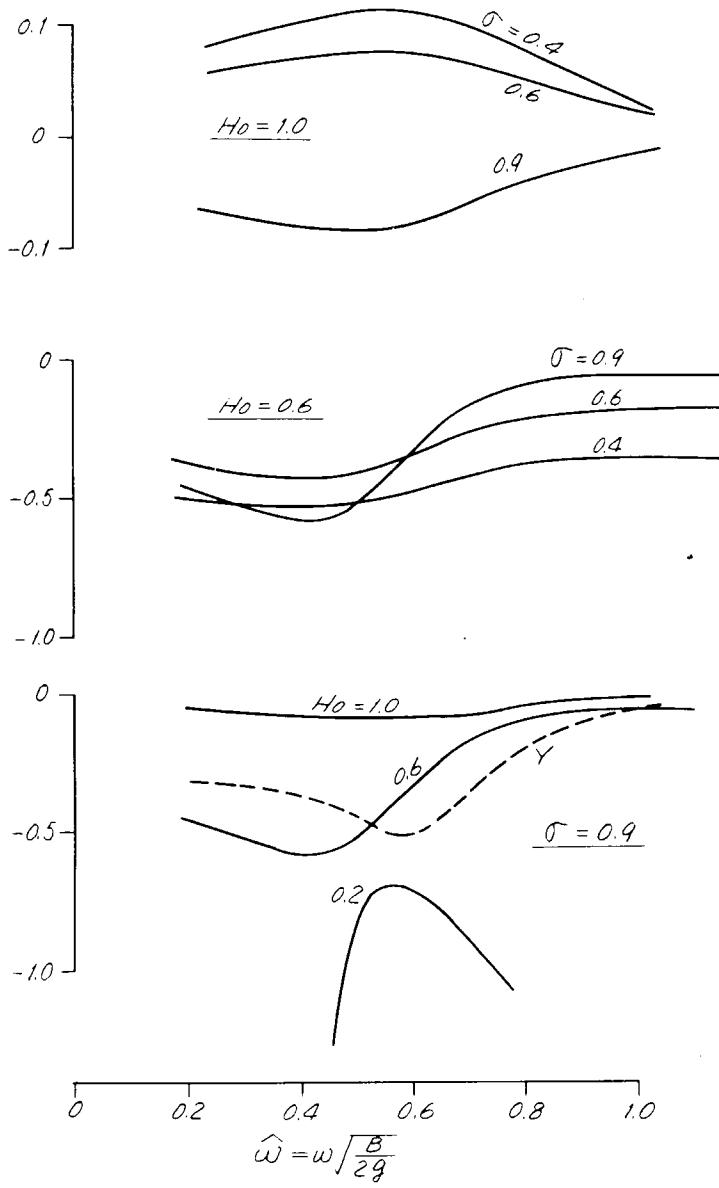


Fig. 5.2.7. Coupling Moment Coefficient \hat{q}_{17}

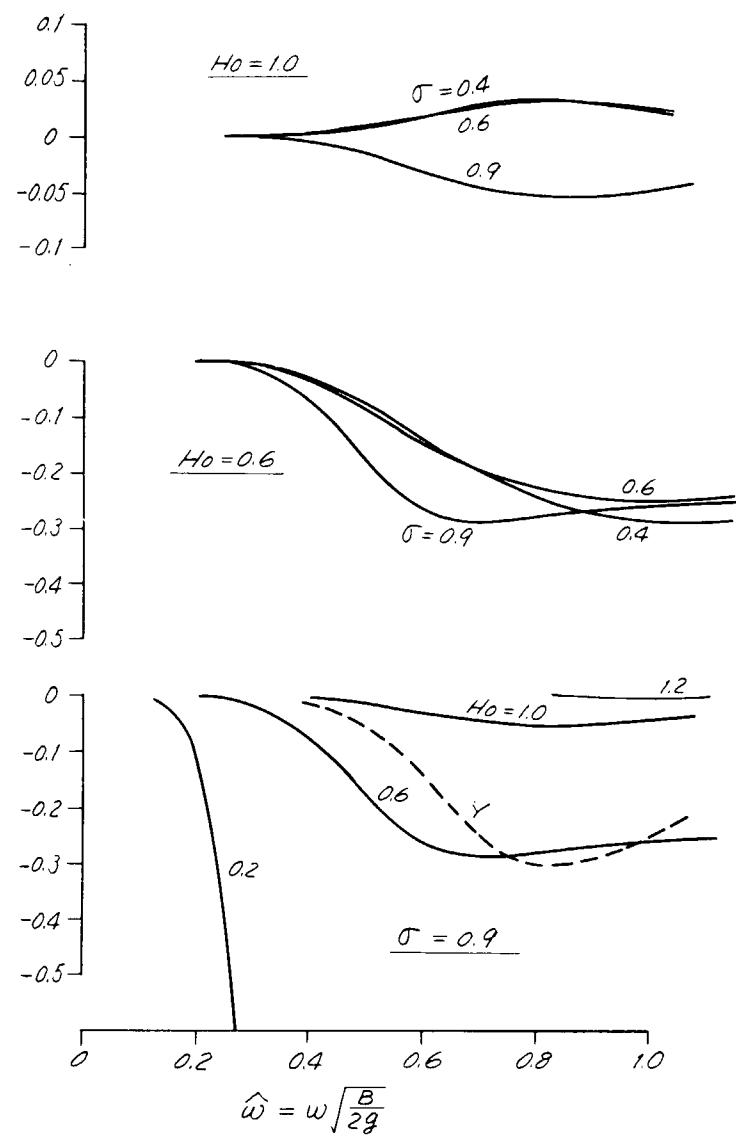


Fig. 5.2.8. Coupling Moment Coefficient $\hat{\alpha}_{18}$

Sway $F_n = 0.0$

$H_0 = 1.0$

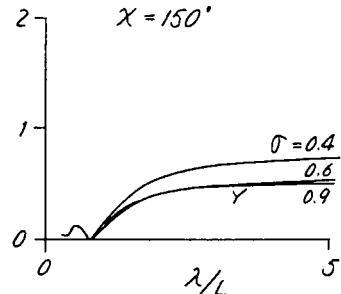
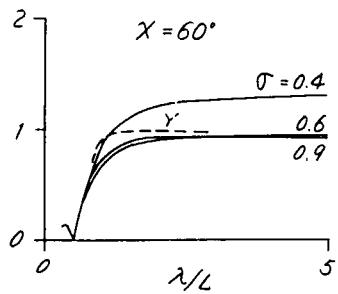
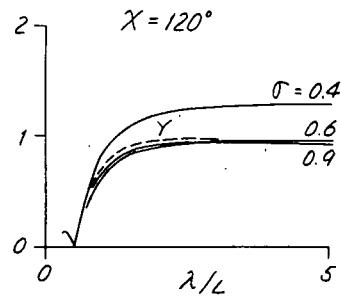
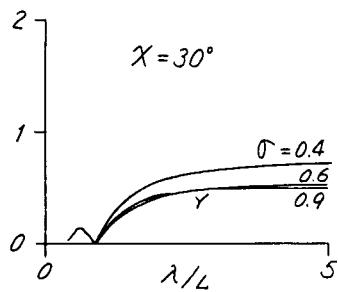
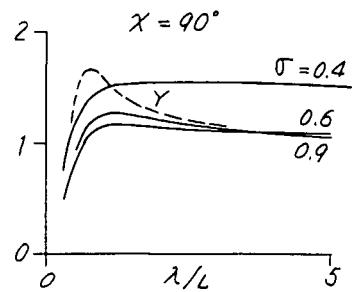


Fig. 5.2.9 \hat{F}_η

S_{WAY} $F_n = 0.0$

$H_0 = 0.6$

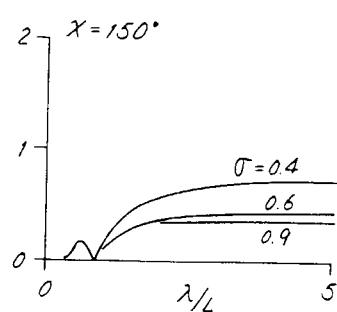
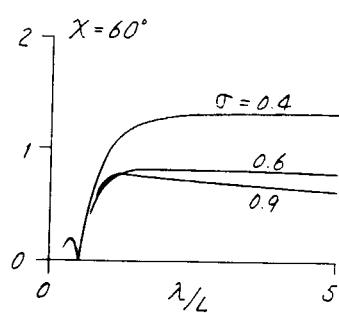
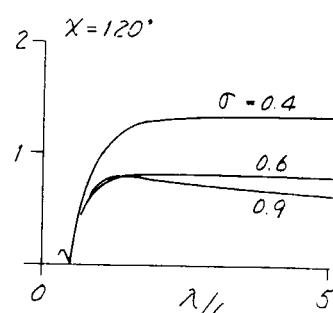
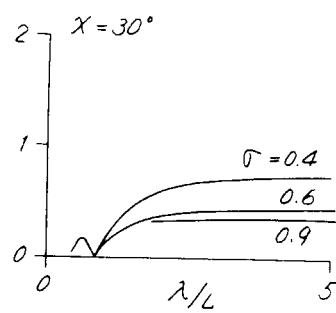
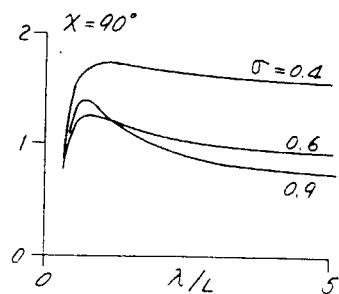


Fig. 5.2.10 \hat{F}_η

SWAY $F_n = 0.0$

$\sigma = 0.9$

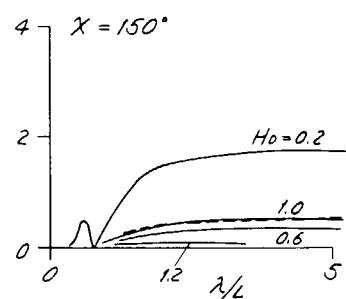
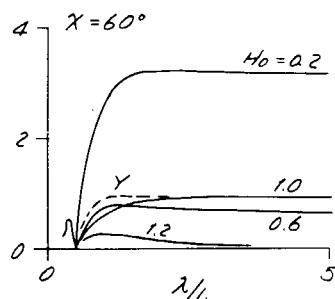
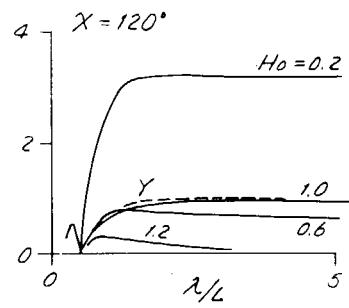
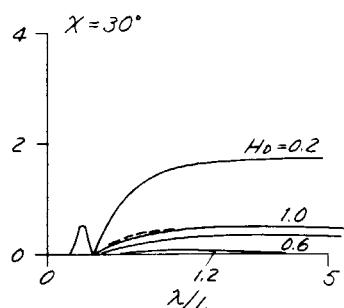
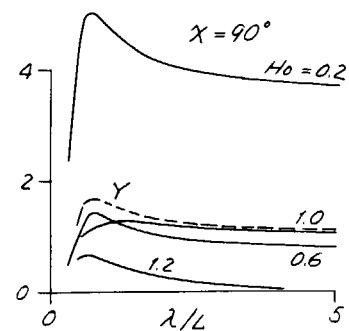


Fig. 5.2.11. \hat{F}_η

SWAY $F_n = 0.3$

$H_0 = 1.0$

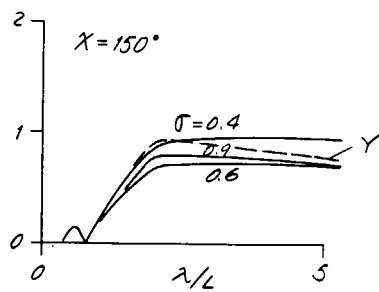
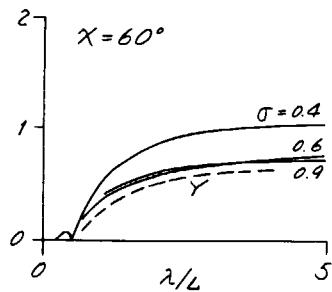
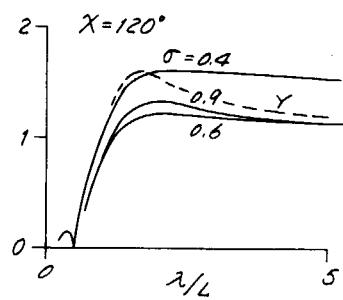
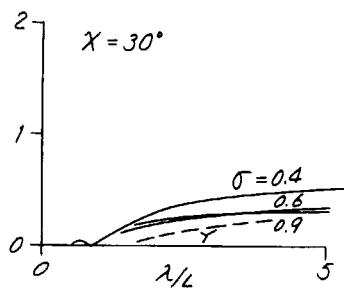
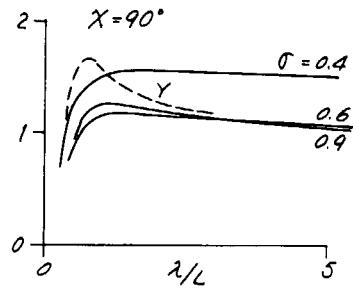


Fig. 5.2.12. \hat{F}_y

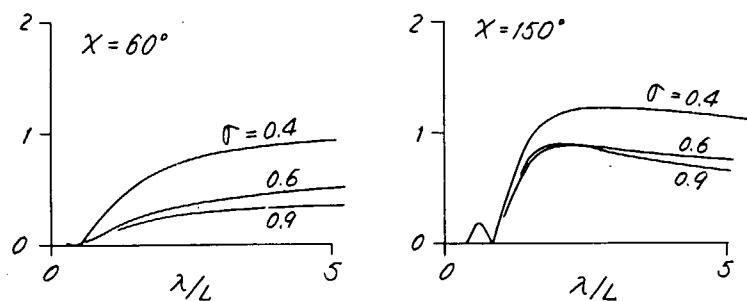
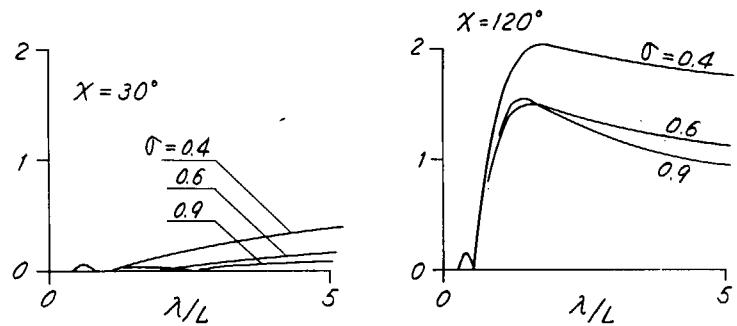
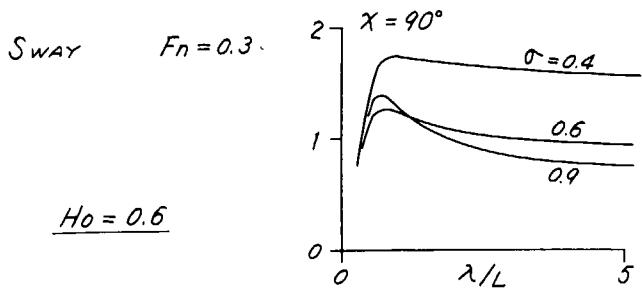


Fig. 5.2.13 \hat{F}_η

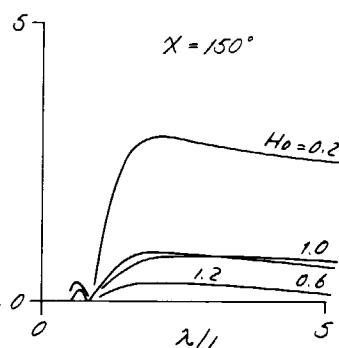
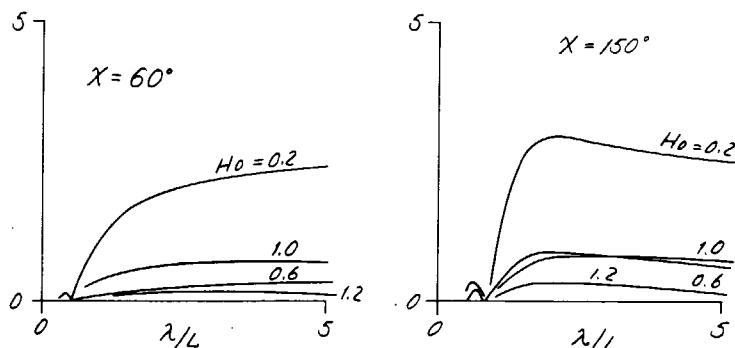
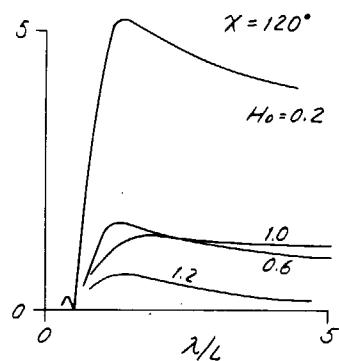
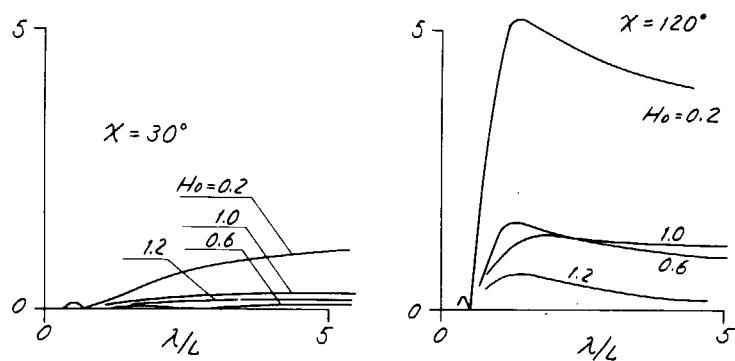
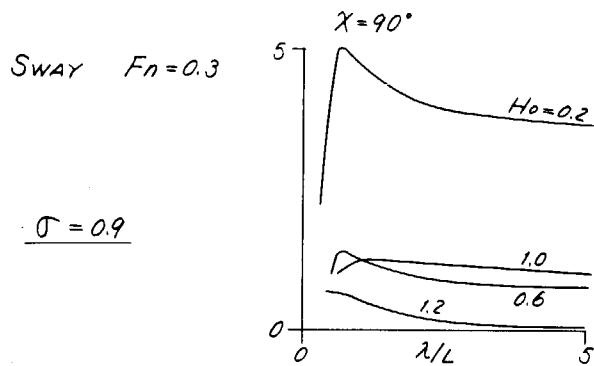


Fig. 5.2.14. \hat{F}_y

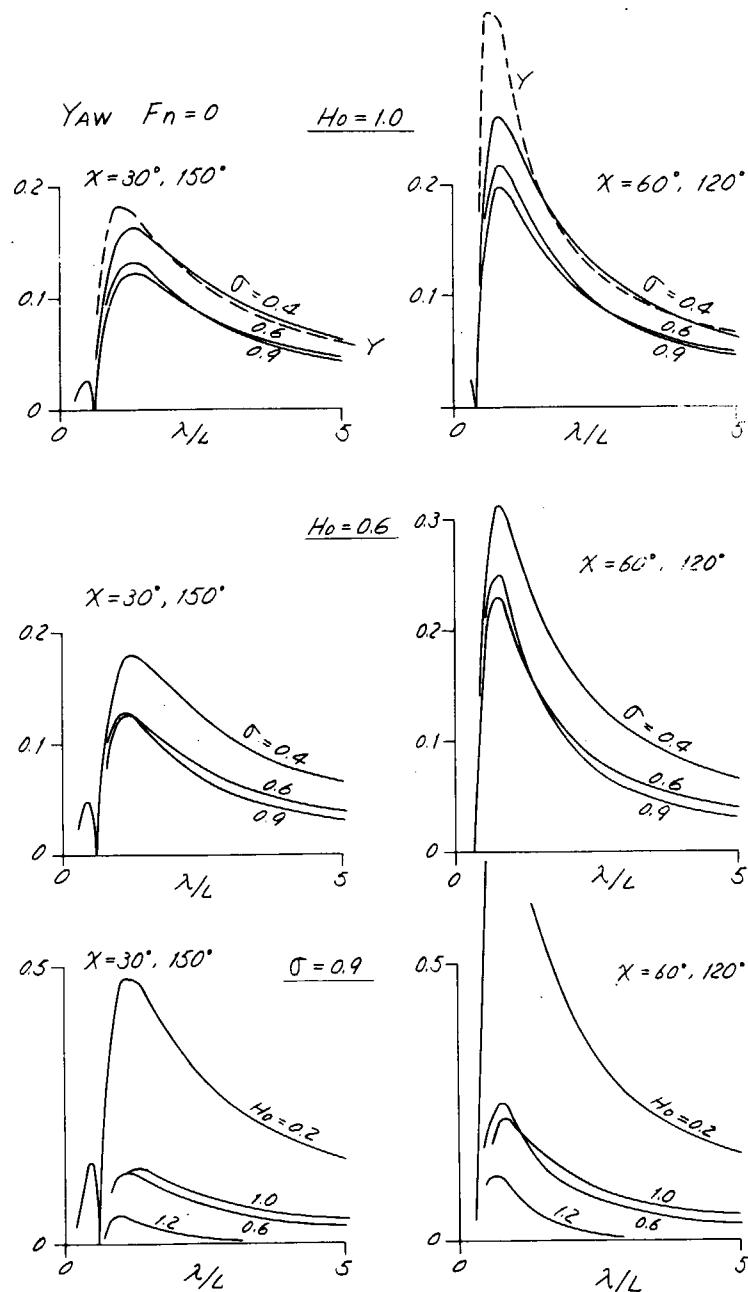


Fig. 5.2.15. \hat{M}_φ

Y_{AW}

$F_n = 0.3$

$H_0 = 1.0$

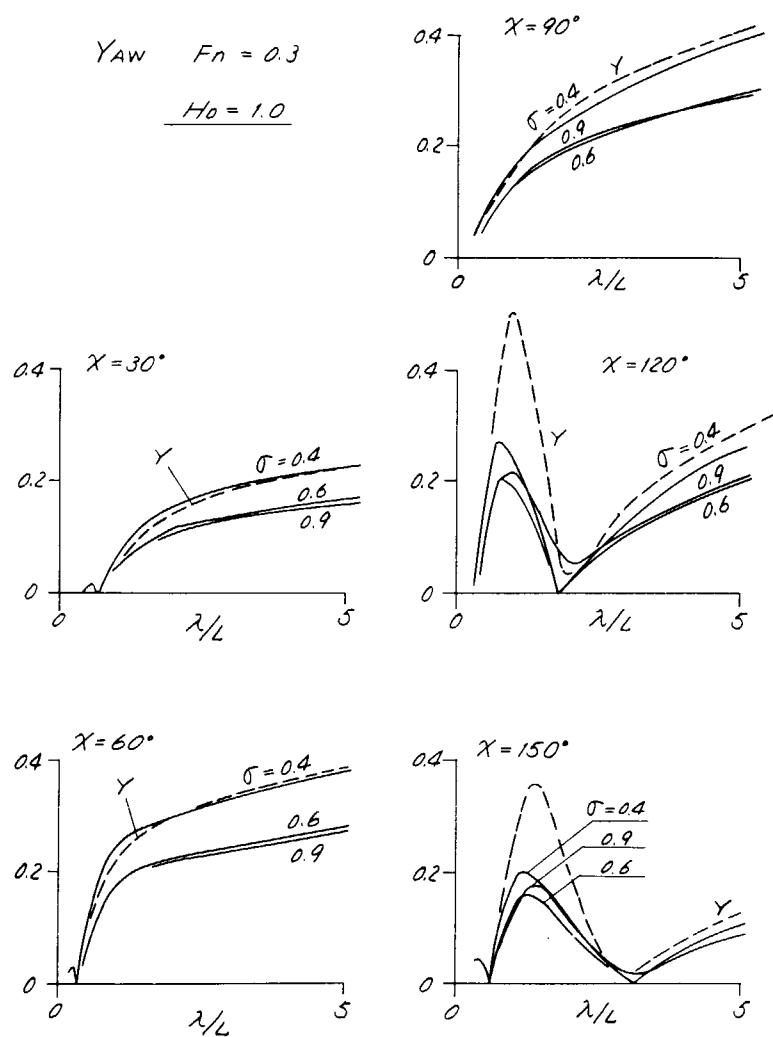


Fig. 5. 2. 16 \hat{M}_φ

$Y_{AW} \quad F_n = 0.3$

$H_0 = 0.6$

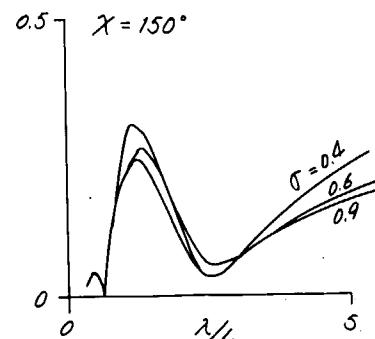
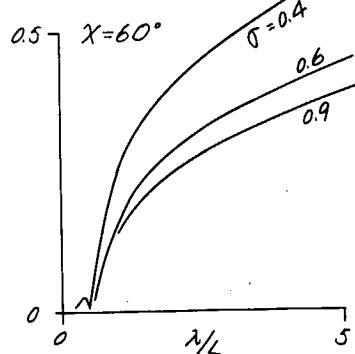
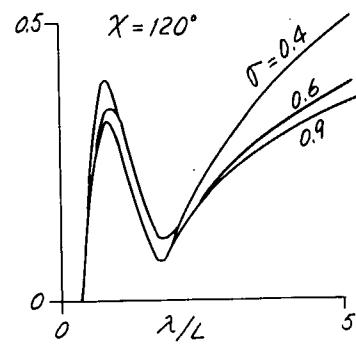
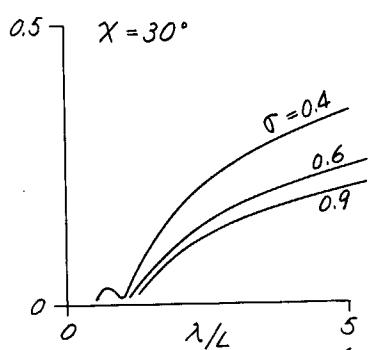
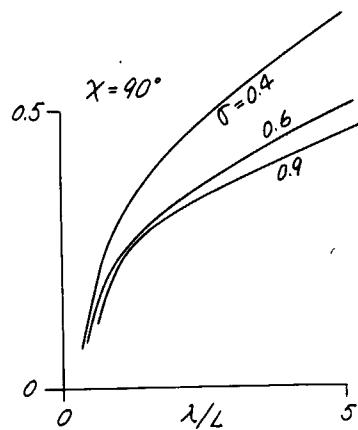


Fig. 5.2.17 \hat{M}_φ

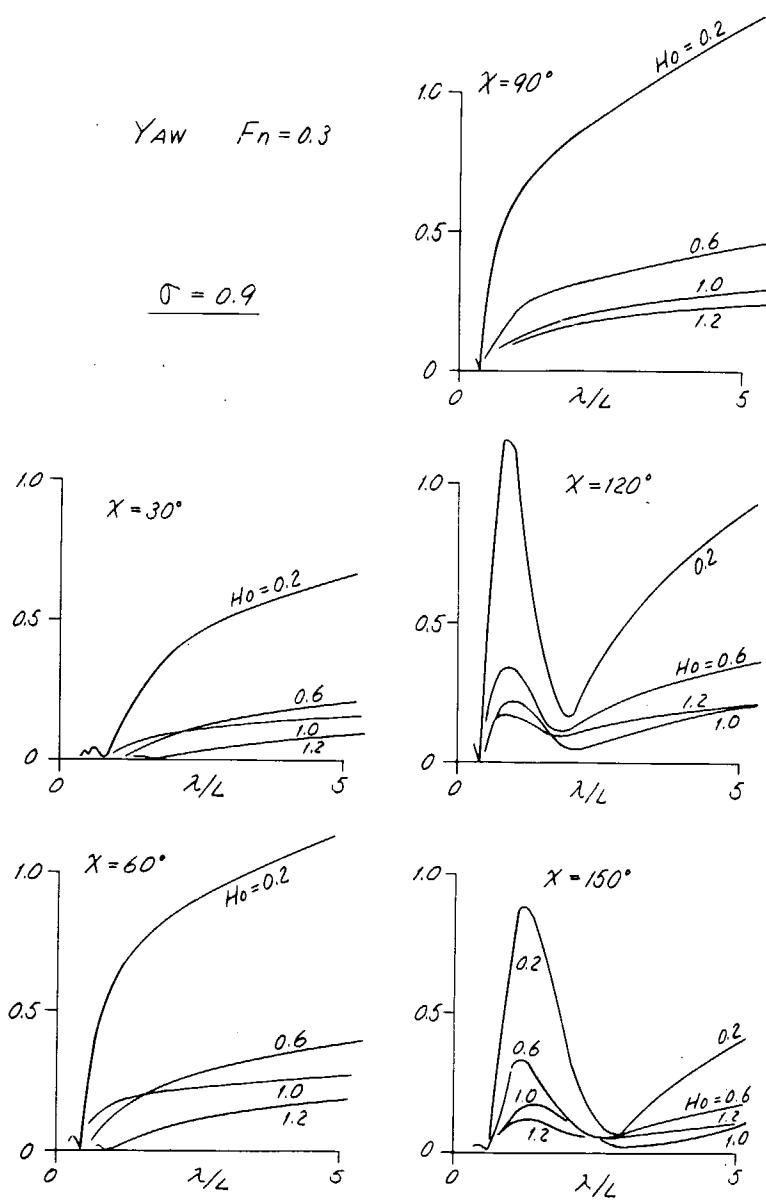


Fig. 5.2.18 \hat{M}_ψ

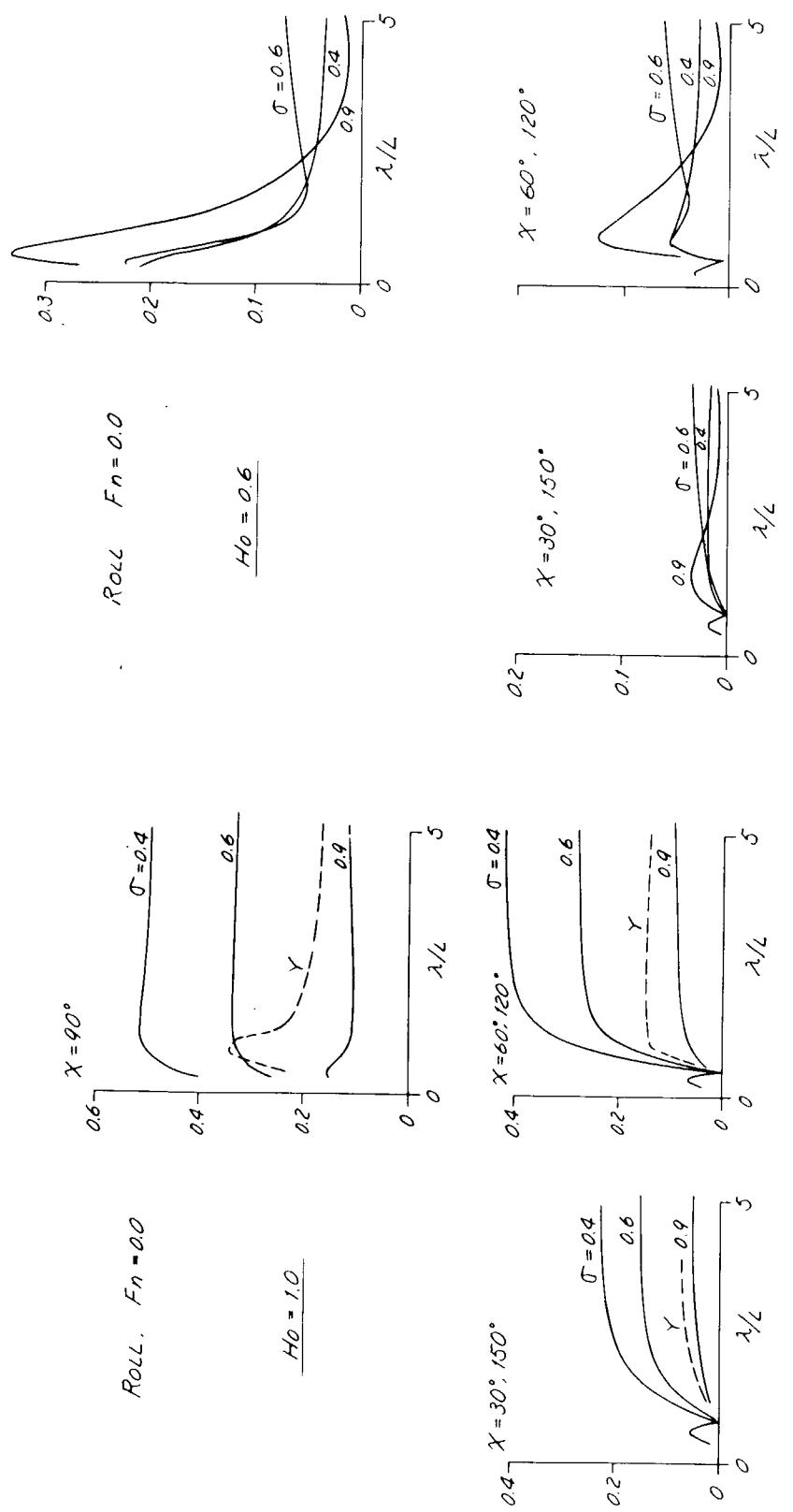


Fig. 5. 2. 19. $\hat{\text{M}}_6$

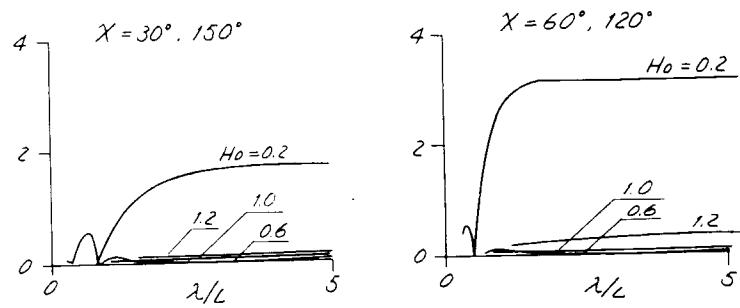
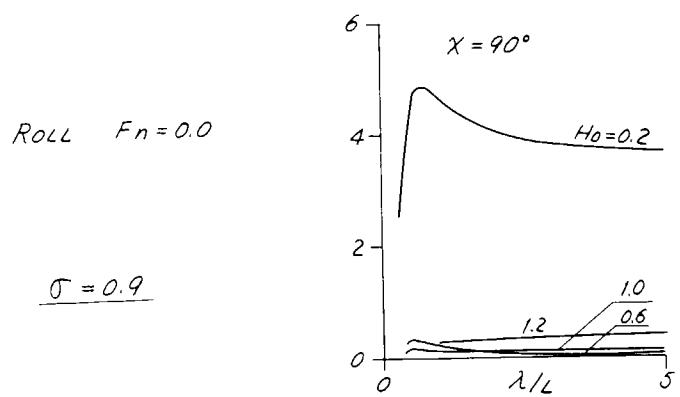


Fig. 5.2.21. \hat{M}_θ

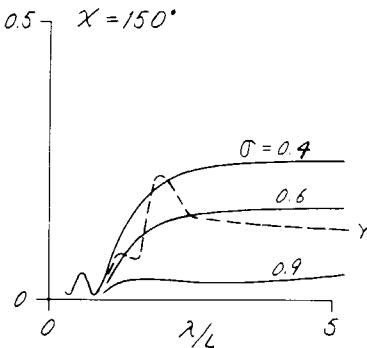
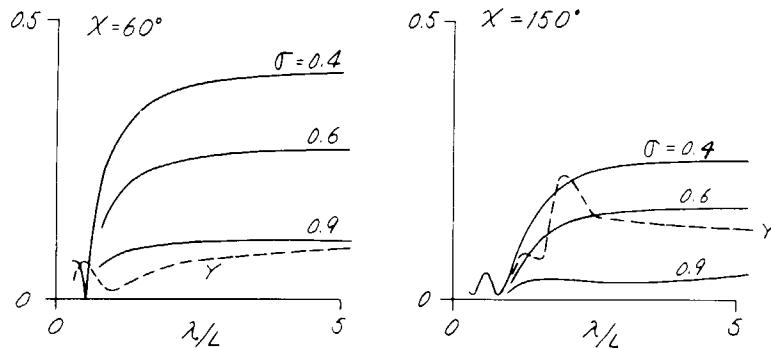
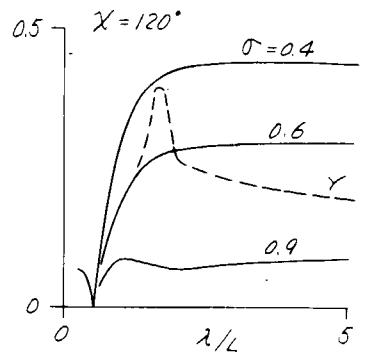
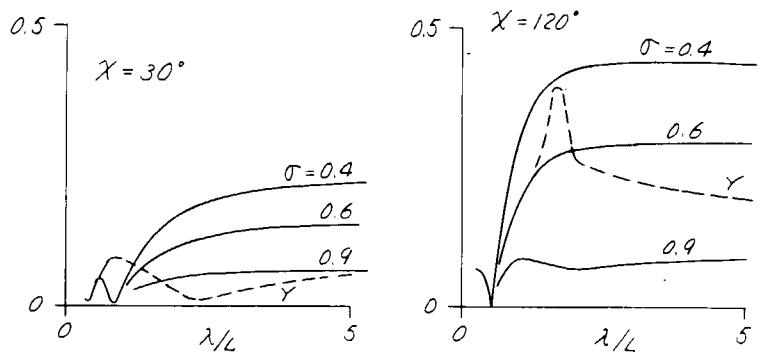
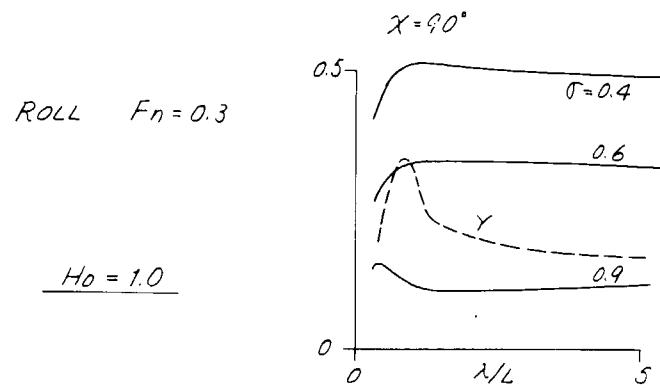


Fig 5.2.22 \hat{M}_θ

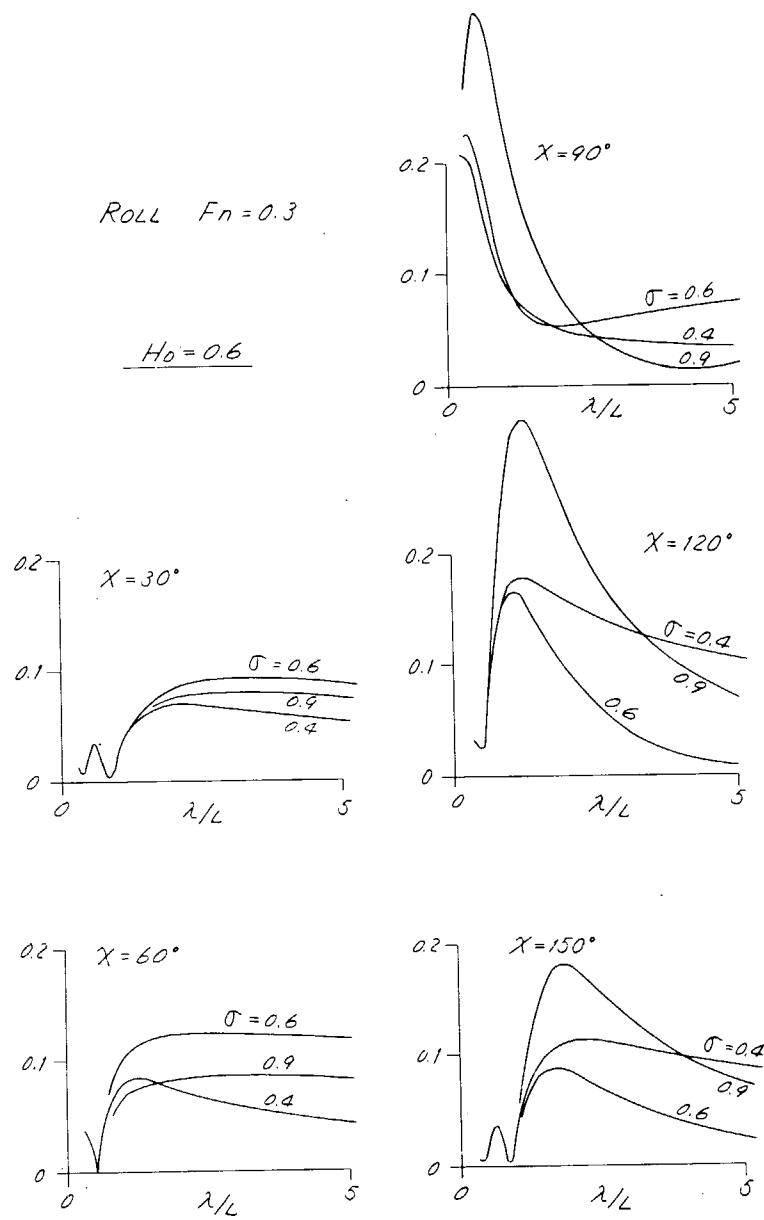


Fig. 5.2.23 M_B

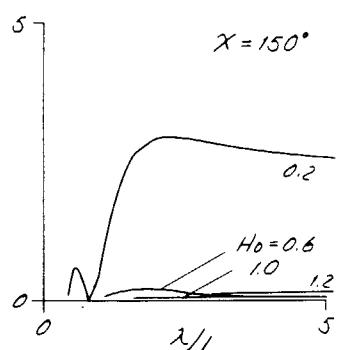
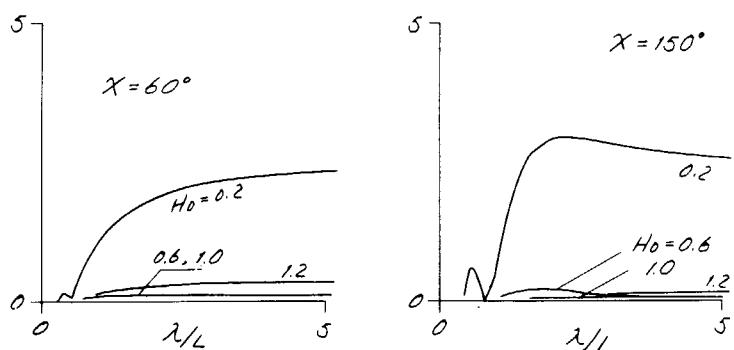
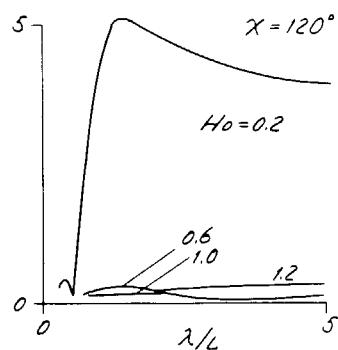
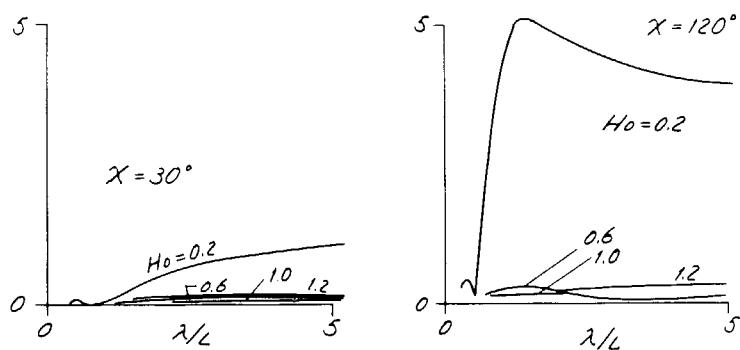
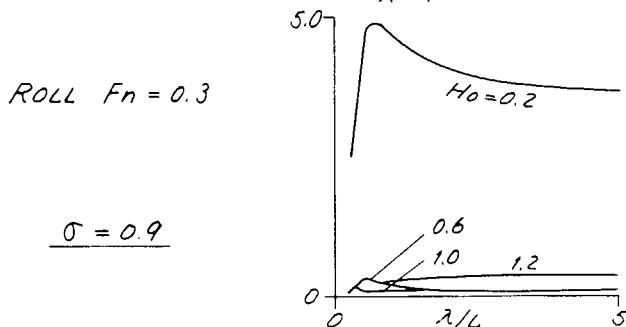


Fig. 5. 2. 24 \hat{M}_ϕ

ROLL (FROUDE-KRILOFF)

$F_n = 0.3$

$\sigma = 0.9$

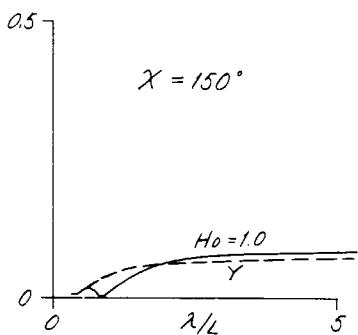
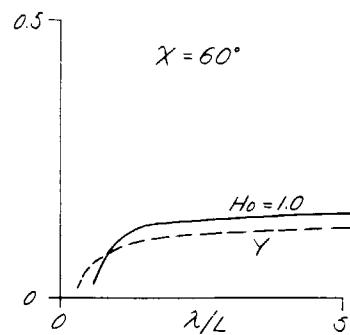
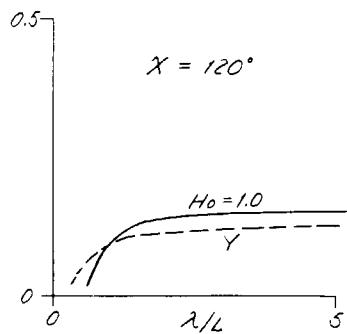
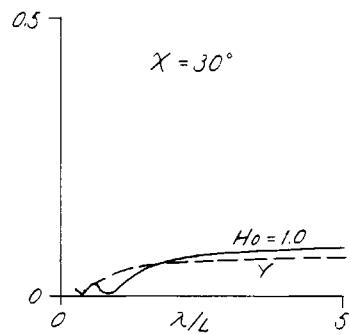
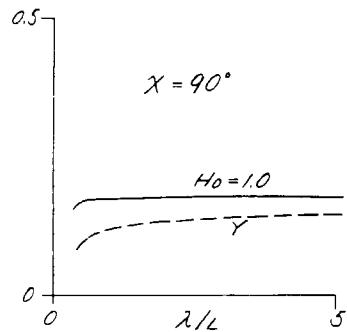


Fig. 5.2.25 \hat{M}_θ

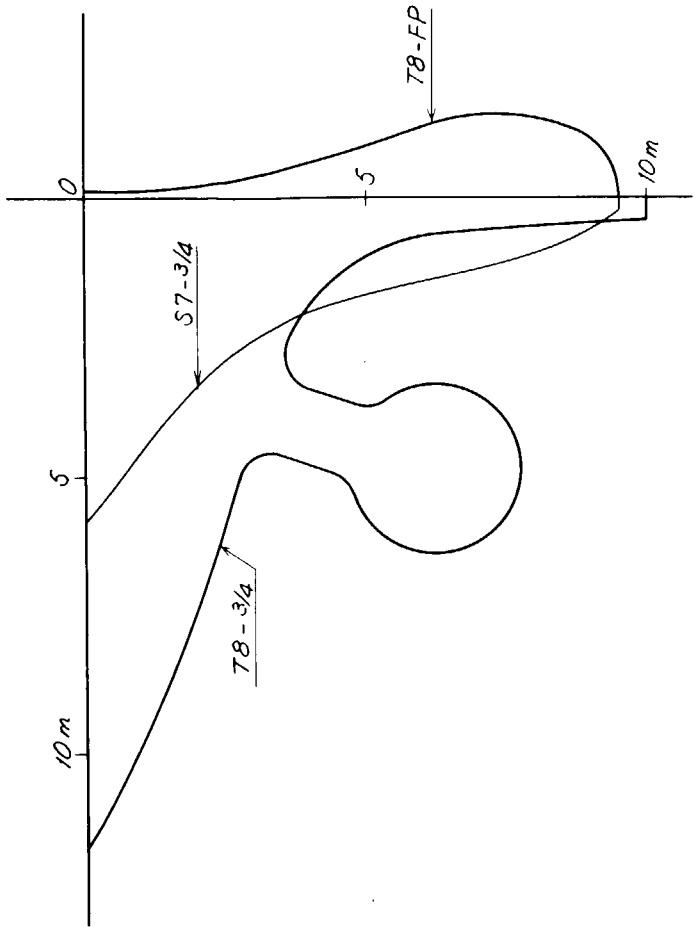


Fig. 5.3.1. Contour of Ship Sections

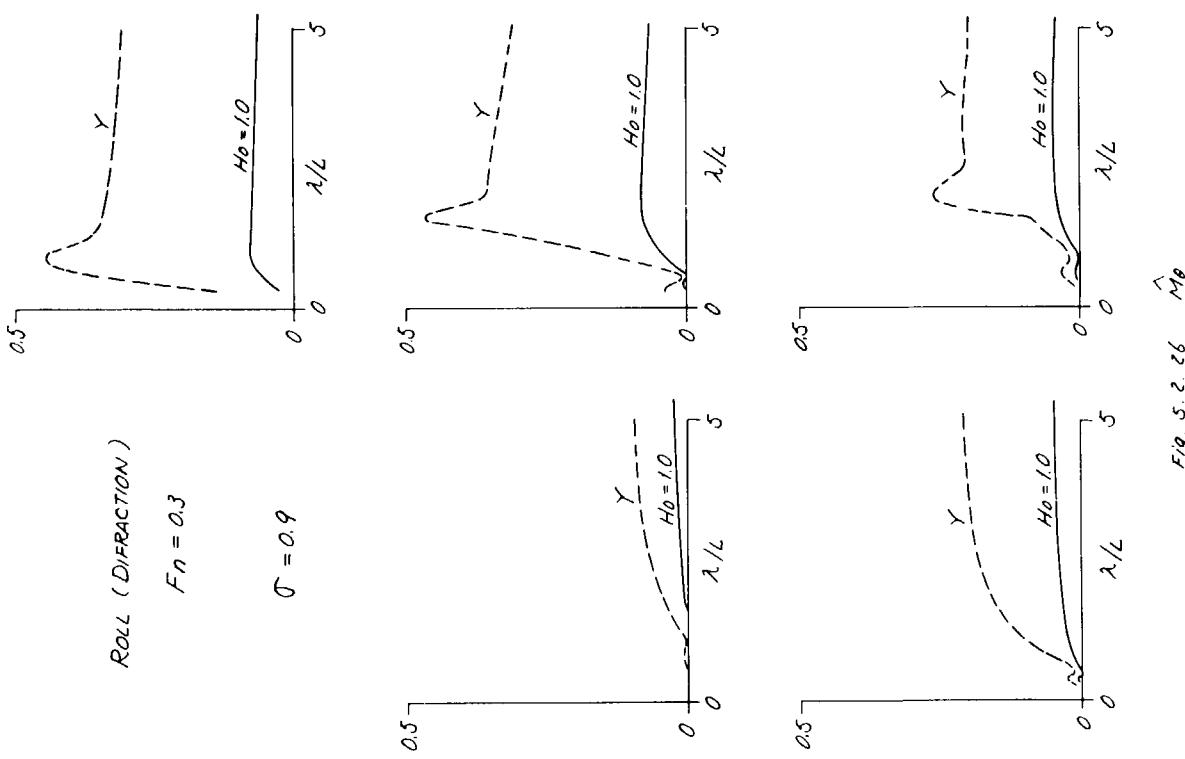


Fig. 5.2.26 H_0

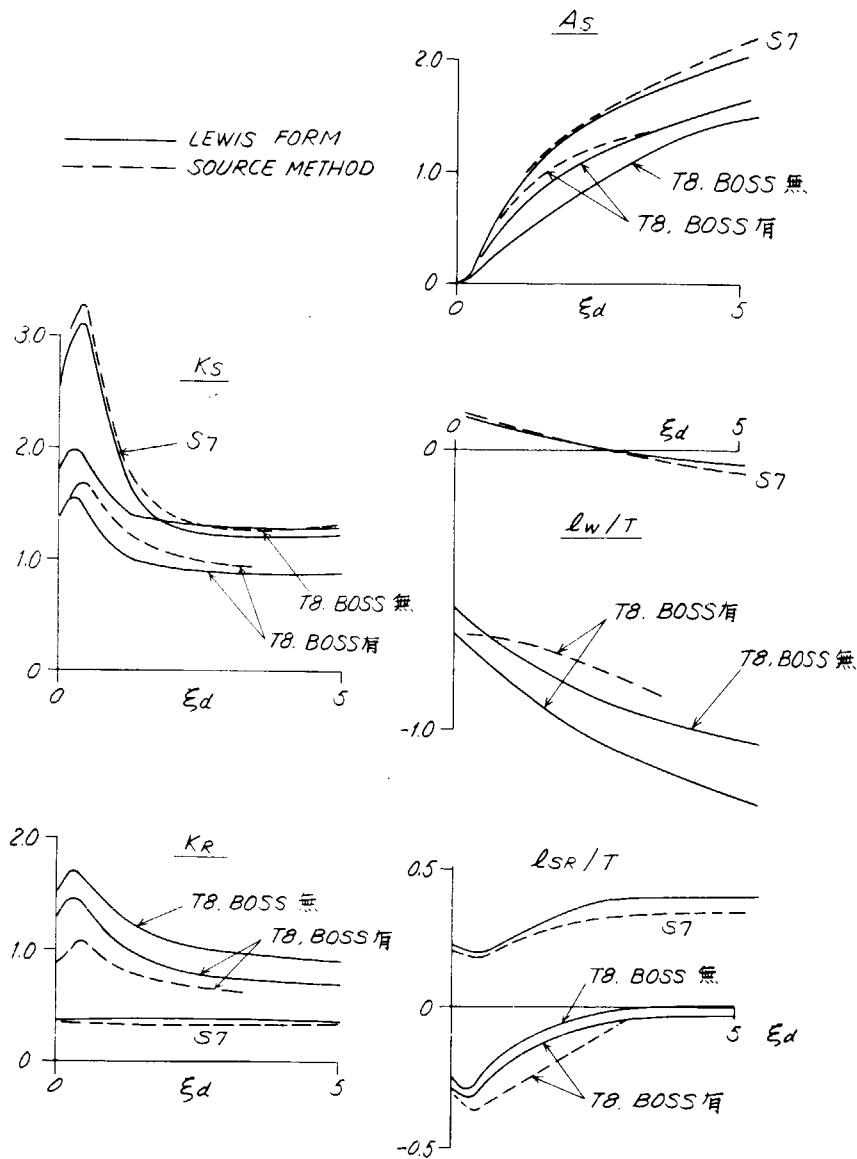


Fig. 5.3.2 船尾の流体力
(S8. St. 3/4)

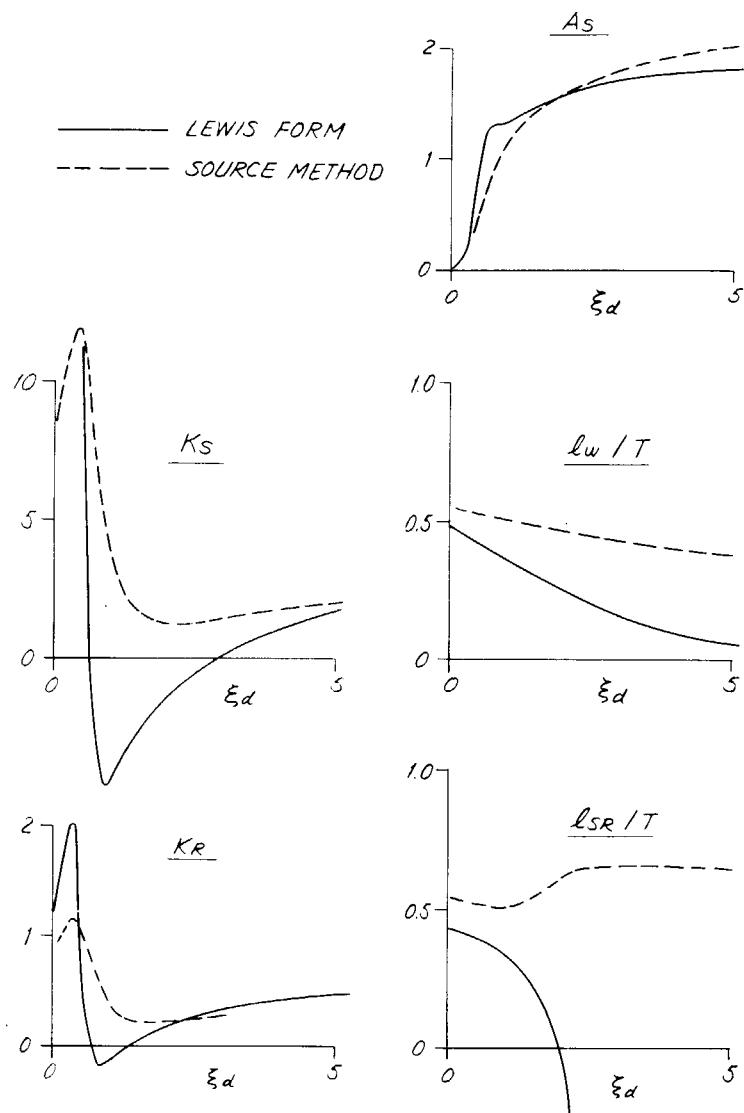


Fig. 5.3.3. 船首の流体力

結 言

本研究は昭和44年度より、3年計画で行なわれたもので、本年度はその最終年度に当る。緒言に述べたごとく高速貨物船の耐航性に関する基礎的資料を得ることを第一目的としたものであるが、この3年間に行なつた模型実験および理論計算により Ordinary Strip Method を中心とした線型理論が、かなりの精度で耐航性に関する現象を説明しうることが明らかにされた。また、これらを用いた種々の計算資料も多数提出され、当初の目的はほぼ達成されたものと考える。

しかしながら、第3年度に企てた耐航性理論の運航面あるいは設計面への応用を考えると、本研究あるいは、SR-125で行なわれた実船実験との比較からなお不十分な点が極めて多いことが痛感される。これらを克服して、耐航性理論をより実際業務に応用しうるものとするためには、今後下記の項目の研究が行なわれる必要がある。すなわち

- (1) 多くの模型実験、実船実験より、理論モデルの改良を図る。
- (2) 波浪海面の資料の整備
- (3) 非線型理論の導入
- (4) 系統的理論数値計算の実施

などである。

幸い、SR-125が今後も継続実施される予定であるので、上記事項をふまえた上で、耐航性理論の実際面への応用の確立に努力を続けたい。

参考文献

- 1) 田才福造 : "規則波中の応答理論および計算法"、耐航性シンポジウムテキスト
昭和44年7月
- 2) 高木又男他 : "波浪中抵抗増加の計算に関する一改良" 関西造船協会誌 141号
昭和46年9月
- 3) SR-108 : 昭和45年度報告 , 研究資料No.125 昭和46年3月
- 4) 福田淳一 : "応答の統計的予測" 、耐航性シンポジウムテキスト 昭和44年7月
- 5) SR-108 : 昭和44年度報告、研究資料No.110 昭和45年3月
- 6) 田才福造他 : "一軸高速コンテナー船の縦波中の耐航性能に関する研究" 西部造船会会報、第41号
昭和46年3月
- 7) Lewis, E.V. : "Principle of Naval Architecture" T.S.N.A.M.E., 1967
- 8) 中村彰一 : "耐航性の諸要素"、耐航性シンポジウムテキスト、昭和44年7月
- 9) SR-125 , 昭和46年度報告 研究資料No.157 昭和47年3月
- 10) 田才福造 : "肥大船の耐航性能に関する研究" 西部造船会会報 第37号 昭和44年2月
- 11) Marks, W : "An Automated System for Optimum Ship Routing"
T.S.N.A.M.E., Vol.76 1968
- 12) 福田淳一 : "波浪中の船体運動と船体表面に働く変動水圧および横強度に関する理論計算"
造船学会論文集 129号 昭和46年6月
- 13) 前田久明 : "任意船型における波の強制力について" 造船学会論文集、126号
昭和44年12月