

Title	船舶の波浪中推進性能に関する研究
Author(s)	内藤,林
Citation	大阪大学, 1980, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/150
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

船舶の波浪中推進性能 に関する研究

昭和54年12月





船舶の波浪中推進性能に関する研究

昭和54年12月

内藤

船舶の波浪中推進性能に関する研究

目次	ページ
第1章 뜖論	1
第2章 波浪中推進性能の総合的考察	4
2.1 船体ブロック	10
2.2 推進器ブロック	10
2.3 主機関ブロック	11
2.4 船長ブロック	12
第3章 波浪中にあける船体運動,抵抗増加	14
及びプロペラ推力,トルク,回転数	〔 増加
3.1 波浪中の船体運動	14
3.1.1 正面規則液中にあける船体運動	14
3.1.2 規則追波中にあける船体運動	16
3.1.3 正面不規則波中にあける船体運動	19
3.1.4 船住運動に及ぼす波高の影響	20
3.2 抵抗増加 及びアロペラ推力,	
トルク、回転数増加	a 20
3.2.1 正面規則波中にあける抵抗増加	20
3.2.2 規則何波,規則追波中における	21
プロペラ推力、トルク、回転数	(増加
3.2.3 正面不規則波中にあける抵抗増加,	22
プロペラ推力、トルワ、回転数	增加

---- i --

	3.2.4 名種増加量と波高の関係	23
	3.3 第3章のまとめ	24
第	4章 波浪中の目航要素	26
	4.1 プロペラ単独特性	26
	4.2 波浪中の目航要素の解析結果	27
	4.3 波浪中船尾流場の計測	29
	4.4 ニ次元翼素理論によるプロペラ 特性	34
	を用いた波浪中自航要素の検討	
	4.5 第4章のまとめ	39
第	ち章 波浪中にあける負荷変動	41
	5.1 員府変動の推定計算法	41
	5.2 プロペラ面は流入速度変動	44
	5.3 非定常二次元翼素理論による	48
	プロペラ貝婧変動の計算	
	5.4 実験との比較	52
	5.4.1 プロペラ単独状態での負荷変動	52
	5.4.2 波浪中目航時の負荷変動	53
	5.5 プロペラレーシング	55
	5.5.1 レーシング時の負荷変動と	55
	プロペラ没水深度の相互関係	
	5.5.2 アロペラ単独状態でのレーシング	56
	5.5.3 波浪中目航時のレーシング	57
	5.5.4 主機一プロペラ系の回転慣性モーメントの	59
	レーシングに及ぼす影響	

.

5.6 ノンメモリーの非線型変換された波動の	64
スペクトル解析	
5.6.1 y(t)の自己相関関数 Ry(T)	68
5.6.2 y(t)のスペクトラム Sy(w)	70
5.6.3 相当線型化法	70
5.6.4 平均值と分散值	71
5.6.5 実験との比較検討	72
5.7 第5章のまとめ	75
第6章 波浪中にあける船速低下及び変針	77
6.1 自然减速	77
6.1.1 自然減速に関する実験と計算の比較	80
6.2 意識的減速,变針	83
6.2.1 意識的減速に関する実験と計算の比較	86
6.3 第6章のまとめ	88
第7章 実船に関する一つの該算例	89
7.1 自航要素の影響について	90
7.2 主機関からみに運航制限	91
7.3 運搬の最適化	92
7.4 第7章のまとめ	94
第8章 結論	95
討辞	98
务考文献	99
図表一覧	104
図表	110

·

.

— iii —

第1章 精論

波浪中にあける船舶の挙動ごは船体運動が基本的なものであるが,船体が運動することにより抵抗が増加し,船速が低下する。また,截しい海象ごは海水打込み,スラミング,プロペラレーシングなどが生じ,船あるいは貨物が危険であると船長が判断すると意識的に船速を落としたり変針したりして,東組員の安全 か船体損傷の危険を回避する。

耐航性分野の研究対象であるこれらの问題は、Ordinary Strip Method (O.S.M.)の出現で, 船体運動が比較的正しく 推定できるようになって以来, 格段の進歩を示している。これ らの研究対象については、一定船速の条件下で理論と実験の比 載検討がなされているものが多いが, 基礎的研究にとっては, その条件は必要なものである。しかし、 船舶の耐航性能を総合 的に評価するには、そえられた海象中における船速低下量とい うものを正しく推定することが必要である。そのとに立って、 船体運動の程度、波浪荷重、負荷変動などの評価がなされるの が実際的であり妥当なものごある。まして、減速、変針指令を 出す船長というものを,船舶を構成する一つの機能として,耐 航性分野の一つに組み込もうとするならば、このことは特に必 要である。この船連低下量を正しく推定しょうとすると、耐航 性分野以外の研究成果を的確に取り入れることが大切であるが それらの中には,主機性能の影響についても含まれている必要 がある。上記の向題は、広義な意味における波浪中推進性能の向

--- 1 --

題と考えられる。

本論文は, このような意味にあける波浪中推進性能について 総合的にとらえようとしたものである。

本論文の構成は8章から成っている。オ1章は緒論、オ2章 で波浪中推進性能に関する総合的考察を述べ、本論文の骨格を 示し、耐航性能分野の研究成果の位置ごけを示すことを目的と している。オ3章からオ6章までは、オ2章で述べた事に対す る名論を展開するものである。

オる章ごは、船体運動、抵抗増加、プロペラ推力、トルク、回 転数増加などの実験的研究成果を示している。現在,船体運動 や抵抗増加の理論が実験と、一部特別な場合を除き良く合致す ると言われているが、そのような結論が出るための一つの真献 をした章である。

オ4章では、波浪中の自航要素を扱い、平水中と違うその振舞 いについて調査、検討するため、波浪中の船尾流場の計測を行 い、波浪中自航要素の動的な特徴点を明確にした。

オ5章では、船が波浪中を目航している場合、プロペラきわりの流場が絶えず変動しているが、それによって生ずる負荷変動を扱っている。この負荷変動は、主機肉、プロペラ軸系の減度や船体振動などに影響する。特に截しい負荷変動であるプロペラレーシングについては、浅い没水状態にあけるプロペラ単独試験を実施し、レーシングの基本的な性質を把握し、その結果を利用して自航時のレーシングについて検討し下。また、それうを主機特性平面とで論ずることによって実能と模型実験の対応

- 2 ---

づけが可能になることも示している。

第6章ごは、波浪中にあける船速低下、変針の肉題を扱っていろ。船速低下には、その性質から2種類あるといわれている。 ーっは、船体の抵抗増加によって生ずる自然減速、あるいは、 船速損失といわれるもの、他の一つは、危険回避のために船速 を著とす指令を船長が去すことによる意識的減速ごある。この船 速低下と変針の向題を解くことは、自動的に船舶の救浪中にお ける総合的挙動を知ることになり、そのために为ち章まごの検 討事項が必要になってくる。

オ7章では、以上の成果のエに立って、1つの実船の試算例 として175m級の高速コンテナ船を例にとり各種の計算を実施 し、本論文の具体的応用例とした。

オ8章では, 以上の研究で得られた結論とともに, 将来への展望を示している。

本論文の進展過程は、 おる章の研究を起点にし、 名章の流れ に沿って進展させてきたものであり、 それを最終的に船連低下 と変針の 応題を軸に据えることによって総合化したものごある

研皱性分野の研究成果を船の基本設計に積極的に生かすため には,理論や実験の進捗状況に合めせて総合化される必要があ るが,本論文は、そのための基本的視点を与えるものである。

- 3

第2章 波浪中推進性能の総合的考察

船舶が波浪中を航行している時,船体,プロペラ,主機,そ して操船者などを含めたすべての諸機能がその海象に見合って作 動し, ある平衡状態が保持されている。このような波浪中に おける船舶の看機能の相互関係をブロック図で示すとFig.2-1 のようになる。この図の上側のブロックは船体部分を,真中の ブロックは推進器部分を,下側のブロックは船体部分を,真中の ブロックは推進器部分を,下側のブロックは船体部分を示し, この3つのブロックが相互に影響し合いながら船舶は波浪中を 航行している。右側の部分は船長指令で,この部分も入れると 4つのブロックということになる。船長指令は人间の判断が入 るので,それを除いに形で議論し、後に船長指令の部分を論ず ることにする。

この船の挙動をベクトル的に表現するために、死軸に船体抵抗(R),Xa軸にプロペラ推力(Tp), Xa軸にプロペラトルワ(Qp),Xa軸に主機トルク(Qe)をとり、それらのXi軸で作られる 空面ご船が作動している点をFig.2-2のようにベクトルご表す。

船が平水中を航行している場合の釣り合い実し(ベクトル Ec)から、船が波渡中に入りるEnだけそのベクトルが変化し 矣A(ベクトルEn)で平均的には釣り合いながら点Aのまわり に変動する。(ベクトルen(t>). このるEnを求めて新しい釣り 合い点Aを求めるのが自然減速、あるいは船連損失の向題であ るとする.このA点の状態にあいて船長は、船が安全であるか 定度であるかを判断し、 た険である場合、 意識的に船連を落と

したり変針したりする。この操縦によって変化したベクトルを SEaとする。船長判断によって点B(ベクトルE)に新たな平 衡点が初動し、その点まゆりに変動する。(ベクトル C(t))。こ のSEaを求め、実Bを求めるのが意識的減速、変針の向題であ るとする。

この2っの向題は、内容的には同じ性質のものであるが、その定義から別々に論ずることにする。

さて、ある手えられた海家中ご作動している船舶の尺,Tp, Qp, Qe を定常部分と変動部分に分け、かっ変数を明示して次のように表す。

 $R(V,\chi) = \overline{R}(\overline{V},\overline{\chi}) + r_{S}(u_{S},\chi) = R_{o} + \overline{\delta}R + r_{S}$ $T_{p}(U,N_{p}) = \overline{T_{p}}(\overline{U},\overline{N_{p}}) + t_{p}(u,n_{p}) = T_{po} + \overline{\delta}T_{p} + t_{p}$ $Q_{p}(U,N_{p}) = \overline{Q_{p}}(\overline{U},\overline{N_{p}}) + g_{p}(u,n_{p}) = Q_{po} + \overline{\delta}Q_{p} + g_{p}$ $Q_{e}(r_{N}N_{p},\Lambda) = \overline{Q_{e}}(r_{a}\overline{N_{p}},\overline{\Lambda}) + g_{e}(r_{a}n_{p},\chi) = Q_{eo} + \overline{\delta}Q_{e} + g_{e}$ (2.1)

ここで V は船連, L は プロペラ への流入速度, X は船と波の 出会い角, A は 1 回転当りの 燃料投入量, Np はプロペラ回転数 を表 し, 変数も同様に次のように表す。

$$V = V_{0} + \delta V = V_{0} + \delta \overline{V} + u_{s}(t)$$

$$U = U_{0} + \delta U = U_{0} + \delta \overline{U} + u_{s}(t)$$

$$N_{p} = N_{p0} + \delta N_{p} = N_{p0} + \delta \overline{N}_{p} + n_{p}(t)$$

$$\Lambda = \Lambda_{0} + \delta \Lambda = \Lambda_{0} + \delta \overline{\Lambda} + \lambda_{s}(t)$$

$$\chi = \chi_{0} + \delta \chi = \chi_{0} + \delta \overline{\chi} + \chi_{s}(t)$$

$$(2.2)$$

なあ、海象らも変数として考慮するのが正しいが海象が急激に 変化しない短期的な運航を考え、以下海象は一定と考える。

---- 5 ---

サフィクスロは、変化前の値を意味し、記号の上のバーは時間 的平均値を示す。また、なは主機軸からプロペラ軸への減速比 を示している。(主機がな回転した時、プロペラが1回転する。) これらを用いると、船の挙動を表すベクトルEは一般的に次の ように表現されることになる。

E = R(V,X) X1 + Tp(U,Np) X2 + Qp(U,Np) X3 + Qe(VaNp, A) X4 = \overline{E} + e(t) (2.3) 右辺オス大のオ1項が時间的定常量でありオ2項が変動項であ る。このベクトルを変化前のベクトル E_0 を使って

 $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \delta \mathbf{\overline{E}} + \mathbf{e}(t) \tag{2.4}$

この SE ヤ e(t)を求めるために、ある時間平均的な作動点の まわりの微少変化を考えることによって式を線型化し、わかり 易いように表現してみる。ここで、SE は変化前の釣り合い点ま わりの微少変化とし、 e(t) は変化後の釣り合い点まわりの微少 変動とする。名変数に対する微係数を求めると次のようになる。

と表す。

 $\begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\mathrm{N}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{V}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{V}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{V}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{V}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{U}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{A}} \\ \mathbf{y}_{\mathrm{A}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \partial \mathrm{T} p_{\partial \mathrm{N} p} & \partial \mathrm{Q} p_{\partial \mathrm{N} p} \\ \partial \mathrm{R} p_{\partial \mathrm{V}} & 0 & 0 & 0 \\ \partial \mathrm{R} p_{\partial \mathrm{V}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \partial \mathrm{Q} p_{\partial \mathrm{U}} & \partial \mathrm{Q} p_{\partial \mathrm{U}} & 0 & 0 \\ \partial \mathrm{Q} p_{\partial \mathrm{U}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \partial \mathrm{Q} p_{\mathrm{U}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \partial \mathrm{Q} p_{\mathrm{U}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \partial$

〈I〉が船体部分,〈II〉が推進器部分,〈II〉が主機部分を表し, 前述した船の3っのブロックが1っのマトリックスに表現され

— 6 ~

たことになる。ただし、Ne は主機関の回転数を示す。

初期の釣り合 N点より SV, SU, SNp, SX, SA だけ変数が微少変 化した時のベクトルの変化分 SE は, (2.5) 犬を使うと

 $\delta \mathbf{E} = \mathcal{Y}_{N} \cdot \delta N_{P} + \mathcal{Y}_{V} \cdot \delta \mathcal{V} + \mathcal{Y}_{U} \cdot \delta \mathcal{U} + \mathcal{Y}_{\chi} \cdot \delta \chi + \mathcal{Y}_{\Lambda} \cdot \delta \Lambda$

= 5 F + C(t) (2.6) となる。以上の結果よりバクトルEを具体的に書くと次のよう になる。

 $\mathbf{E} = \left(R_{0} + \frac{\partial R}{\partial V}\delta V + \frac{\partial R}{\partial \chi}\delta \chi\right)\mathbf{X}_{1} + \left(T_{p_{0}} + \frac{\partial T_{p}}{\partial N_{p}}\delta N_{p} + \frac{\partial T_{p}}{\partial U}\delta U\right)\mathbf{X}_{2} + \left(Q_{p_{0}} + \frac{\partial Q_{p}}{\partial N_{p}}\delta N_{p} + \frac{\partial Q_{p}}{\partial U}\delta U\right)\mathbf{X}_{3} + \left(Q_{e_{0}} + \frac{\partial Q_{e}}{\partial N_{e}}r_{a}\delta N_{p} + \frac{\partial Q_{e}}{\partial \Lambda}\delta \Lambda\right)\mathbf{X}_{4}$ (2.7)

ここで

 $\partial R/\partial v = Rv$, $\partial R/\partial x = Rx$, $\partial TP/\partial NP = P_{TN}$, $\partial TP/\partial U = P_{TU}$,

 $\partial Q_{P} \partial N_{P} = P_{QN}, \quad \partial Q_{P} \partial U = P_{QU}, \quad \partial Q_{P} \partial N_{P} = E_{QN}, \quad \partial Q_{P} \partial Q_{P} \partial N_{P} = E_{QN}, \quad \partial Q_{P} \partial Q_{P} \partial N_{P} = E_{QN}, \quad \partial Q_{P} \partial Q$

 $\mathbf{E} = (R_0 + R_V \delta V + R_X \delta \chi) \mathbf{x}_1 + (T_{P0} + P_{TN} \delta N_p + P_{TU} \delta U) \mathbf{x}_2$

+ $(Q_{p0} + P_{QN} \delta N_p + P_{QJ} \delta U) X_3 + (Q_{e0} + E_{QN} r_a \delta N_p + E_{QN} \delta \Lambda) X_4$ (2.9)

以上によって、初期状態と、(2.5) 式で与えられる[S_{fg}]の合 要素の値を知ることによって微少変化後の状態を推定すること ができる。これを時间平均的定常部分と、変動部分に分ける。 この場合、各做係数は定常部分については大文字で、変動成分 については小丈字で示すことにすると

 $\overline{\mathbf{E}} = \mathbf{E}_0 + \delta \overline{\mathbf{E}} = (R_0 + R_V \cdot \delta \overline{V} + R_X \cdot \delta \overline{X}) \mathbf{x}_1 + (T_{P0} + P_{TV} \cdot \delta \overline{N_P} + P_{TU} \cdot \delta \overline{U}) \mathbf{x}_2$ $+ (Q_{P0} + P_{Q_V} \cdot \delta \overline{N_P} + P_{Q_U} \cdot \delta U) \mathbf{x}_3 + (Q_{e0} + r_a E_{Q_V} \cdot \delta \overline{N_P} + E_{Q_V} \cdot \delta \overline{N_P}) \mathbf{x}_4 (2.10)$ $\boldsymbol{\ell}(t) = \{ Y_{\mathcal{U}} \boldsymbol{U}_{\mathcal{U}}(t) + Y_{\mathcal{X}} \boldsymbol{\chi}(t) \} \boldsymbol{\mathcal{X}}_{1} + \{ P_{\mathcal{U}} \boldsymbol{\mathcal{R}}_{\mathcal{U}}(t) + P_{\mathcal{U}} \boldsymbol{\mathcal{U}}(t) \} \boldsymbol{\mathcal{X}}_{2}$

+ { $P_{qn}n_p(t)$ + $P_{qu}U(t)$ } \mathbf{x}_3 + { $r_a \cdot e_{qn}n_p(t)$ + $e_{q\lambda}\lambda(t)$ } \mathbf{x}_4 ε 53. (2.11)

さて、波浪中を航行する船舶の時間平均的な定常状態を決定 するためには、船体抵抗(24軸)とプロペラ推力(22軸)の釣 り合いと、プロペラトルク(25軸)と主機トルク(24軸)の釣 り合いが同時に満たされる必要がある。

アロペラ推力と抵抗の向には,推力減少係数をたとし, (1-t)= 光とあくと

$$\overline{R} = \widehat{t} \cdot \overline{T}_{P} \qquad (2.12)$$

の関係がある。船連変化前の推力減少係数をた₀ とし, $(1-t_o)=\hat{t}_o$ とあく。新たな釣り合い状態になり \hat{t}_o が St だ け変化したとし, $\hat{t}=\hat{t}_o+St$ と $R_o=\hat{t}_oT_{Po}$ の関係を使うと $S\overline{R}=\hat{t}\cdotS\overline{T_P}+St\cdot T_{Po}$ (2.13) となる。カロペラトルクと主機トルクの面には伝達効率を η_t , プロペラ効率比を η_R とし, $Q_{Po}/\eta_R = \hat{u}\cdot\eta_t\cdot Q_{eo}$ の関係を使うと

 $S\overline{Q}_{p} = r_{a} \cdot n_{t} \cdot h_{R} \cdot S\overline{Q}_{e}$ (2.14)

となる。

更に, 船速▼とプロペラ面での流速Ⅱの向には,伴流係数をW とし(1-w)=w とみくと

 $\widehat{W} \cdot \overline{V} = \overline{U}$ (2.15) の関係がある。船速変化前の伴流係数を Wo とし, (1-Wo) = \widehat{W}_0 とあく。新たな釣り合い状態になり \widehat{W}_0 が SW だけ変化したと し、 $\widehat{W} = \widehat{W}_0 + SW$ と、 $\widehat{W}_0 V_0 = U_0$ の関係を使うと

$$\widetilde{SU} = \widetilde{W} \cdot \widetilde{SV} + \widetilde{SW} \cdot V_0$$

(2.16)

となる。

波浪中の目航要素は難しい向題が多いが,差はどうであれ平 水中の値と波浪中の値と違うのは事実であるので一般的にはこ のように表現し,計算に当っては,目航要素の変化による影響 を論ずなことにする。なあ,波浪中の目航要素については为4 章にあいて詳述される。

以上を考慮して 𝑥_{1,2}軸の釣り合いと, 𝑥_{3,4}軸の釣り合いを 表すと,

 $R_{V} \cdot \delta \overline{V} + R_{X} \cdot \delta \overline{X} = \widetilde{t} \cdot \left\{ P_{TN} \cdot \delta \overline{N}_{p} + P_{TU} (\widetilde{\omega} \cdot \delta \overline{V} + \delta \omega \cdot V_{o}) \right\} + \delta t \cdot T_{PO}$ (2.17)

$$P_{\text{QN}} \overline{sN_p} + P_{\text{QU}}(\widetilde{w} \cdot \overline{sV} + \overline{sw} \cdot V_{\text{o}}) = r_{\hat{a}} \eta_{\hat{k}} \eta_t (r_{\hat{a}} E_{\text{QN}} \overline{sN_p} + E_{\text{QN}} \overline{sN})$$
(2.18)

となる。(2.17),(2.18)大は船舶が波浪中を航行する場合、める平 衝状態からの変化の時に満たしていなければならない条件式であるが、4つの未知数(SV,SNp,SX,SN)に対して2つの方程穴 だから、このますでは4つの末知数を決定することができない。 しかるに自然減速、意識的減速変計の場合、あのあのの定義に よって新たな条件式が加えられ両者を分けて論ずることができ る。これらの船速低下、変針時の時間平均的な増減量について は、26章にあいて詳述される。更に(2.11)式でチえられる変 動ベクトルe(けから、回転数変動、推力変動などの身赤変動を 論ずることができ、それらは25章にあいて詳述される。さて、 (2-5)大で与えられるマトリックス[Skj]中の諸係数は、船体、

----- 9 -

推進器,主機の性能の重要な1っの側面を抽象化して表現し ているものであるが,それらに7 いて以下説明する。

2.1 船体ブロック

船体ブロックのRy,Rxは平水中の抵抗, 及び 風や波による 抵抗増加量を知ることによって得られる。平水中の抵抗は,水 槽試験の結果又は,推定図表を使い,波による抵抗増加は,丸 尾の方法, 丸尾の方法を斜波中の場合に拡張しに細田の方法, あるいは間便なGerritsmaの方法などを用いて規則投中の応管 関数を求め,不規則坂のスパクトラムとの重わ合わせで求めら れる。

なあ、淡浪中の抵抗増加についてはオ3章にあいて詳述される。

2.2 推進器ブロック

プロペラの単独性能曲線は、プロペラ単独試験の結果より

$$\begin{pmatrix} K_{T} \\ K_{Q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a+b \rfloor +c J^{2} \\ d+e J +f J^{2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ J \\ J^{2} \end{bmatrix}$$
$$\equiv \begin{bmatrix} \mathbf{P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ J \\ J^{2} \end{bmatrix}$$
(2.19)

____ 10 ____

のようにKT, KQ は、前進常数了の二次大で極めて良く近以することができる。PTU, PQU はプロペラへの流入速度に対する微係数、PTN, PQN は回転数に対する微係数として (2.19)大を使うと次のように子えられる。

 $\begin{pmatrix} P_{TU} \\ P_{TN} \\ P_{QU} \\ P_{QU} \\ P_{QN} \end{pmatrix} = PD^{2} \begin{bmatrix} bD & 2c \\ 2aD^{2} & bD \\ eD^{2} & bD \\ eD^{2} & 2fD \\ 2dD^{3} & eD^{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{P} \\ U \end{bmatrix}$ (2.20)

ここで、 Dはプロペラ直径、 B は流体密度を表す。 Fig. 2-3に本研究に主に使用したプロペラA (Table 2-1に主要 目を示す。)の単独試験結果とともに係数行列 [P], [PC] を示す。

なみ、 波浪中にあけるプロペラ単独特性については、 オ4章 とオ5章にあいて詳述される。

2.3 主機裏ブロック

主機性能を示すEanは、主機回転数に対する、Eanは燃料投入量に対する主機なカトルクの旅係数で子えられ、Ean=-0の時は主機なカトルクー定の、Ean=-00の時は主機困数一定の、Ean=-Qpo/ranpoの時は主機馬カー定の機関性能を表現する。このようにEan 値を変にさせることによって主機関の性能を表すことができる。これうの値は、主機の単独特性試験や、実船の海上公試の結果などを使って求められる。海上公試の結果より一般には、回転数に対する馬力、あるいは単位時面当り

-- 11 --

の燃料消費量などが得られるから、その結果より燃料投入量に 対する主機トルクの関係を知ることができる。主機トルクの微 少変化量は \mathbf{x}_4 軸の変化分であり $\delta \overline{Q}_e = E_{ON} \cdot \delta \overline{N}_e + E_{OV} \cdot \delta \overline{\Lambda}$ で 与えられる。しかるに主機トルクー定 ($E_{ON} = 0$)の性能をもっ に機関の場合、 $\delta \overline{Q}_e = E_{OV} \cdot \delta \overline{\Lambda}$ となり、 $E_{OA} = \delta \overline{Q}_e / \delta \overline{\Lambda}$ より、 E_{OA} の値を知ることができる。主機関の性能に応じて E_{ON} の値 を与えてせれば、同様に E_{OA} をその機関性能に対して知ること ができる。 Fig. 2-4 に一例として長さ 175 m級の高速コンテナ 船の公試運転結果を示し、 Fig. 2-5 にそれを使って求めに燃料 投入量-主機トルク曲線(Λ -Qe 曲線)を示す。

なあ、主機ムカトルクー定性能はデイゼル機関に、主機馬力 一定性能はタービン機関に近いと言われている。

以下の音章で実施された模型実験にあいては、上記の事など を考慮し回転数一定性能とともに、駆動モーター本カトルクー 定性能を模擬することが可能である制御システムを用いた。通 常, 波浪中の自航試験は、回転数一定の制御を施して実施され るが、以下、断りのない限り、回転数一定制御を施した実験で ある。

2.4 船長ブロック

若れた海家に船舶が遭遇した場合,船長は船,貨物,東組員の安全のために操船する。その船長判断は普通,甲板2への海水 打込みなどの諸現象に対する限界値と、それを超す確率(限界確

— 12 —

率)を与えることによって代表される。それゆえに、船長判断の数量化のためには諸現象に対する確率統計的な取り扱いが必要になる。その取り扱いにあたっての大きな仮定は、諸現象に線型重ね合わせの方法が有効ごあるということと共に、その現象のスペクトラムが狭帯域のものご極値分布が Rayleigh 分布に従うことである。この点については、諸現象の計算の基になる施体運動について才る章にあいて詳述される。以上のような仮定が成立っと、ストリップ法で計算される船体運動を基礎にして、海洋波のスペクトラムとから容易に計算できる諸現象の分散値の2~を求めることにより、船長判断に必要な諸量を知ることができる。これらの点についてはオ6章にあいて詳述される。

以上に述べ下個々の内容について以下の名章にあいて詳述されるが、研究対象として用いた船型は高速1軸コンテナ船である。その模型船の主要目を常用状態、軽荷状態についてTable 2-1に示す。試験状態は常用状態を主にし、以下の名章で特に 軽荷状態と記しに場合以外は常用状態を示すものとする。使用 プロペラは2種類あるが、その主要目も同じTable中に示す。 なあ、主に使用したプロペラはプロペラAであり、断りのない 限りプロペラAを使用している。また、Fig.2-5 に body plan と bour and stern profileを示す。研究内容によって適宜他の縦 型を利用したが、それらはその都度示すことにする。

— 13 —

第3章 救浪中にあける船体運動,抵抗増加,

及びプロペラ推力,トルク,回転数増加

規則波,あるいは不規則波中にあける抵抗,自航試験を実施 し,船体運動,抵抗増加,自航要素,負荷変動などを検討する ために各種の実験を実施した。使用した模型は,Table 2-1 に 示すコンテナ模型船で,Table 3-1,Table 3-2に示すような試 験状態で,実験を実施した。以下,項目別に分けて述べる。

3.1 波浪中の船体運動

3.1.1 正面規則波中にあける船体運動

正面規則波中にあける抵抗試験、自航試験ご得られた上下抵, 縦揺振幅の無次元値をFig. 3-1に示す。図中に 0.5.M.による 計算結果も示してある。 ン下揺,縦揺とも抵抗試験時と自航試 験時とご,ほとんど差が認められない。また,計算値と理論値 を比較すると,縦揺に関してはかなりよい一致を示すが, ン下 揺に関しては, N/L>1.0の範囲ご計算値が実験値より高く, Fn 数が高い程をの差が大きいことがわかる。抵抗試験時に計測さ れたが後揺振幅の無次元値をFig. 3-1の中に示し,前後揺に関 する玻浪強制力としてFroude-Kribff forceのみを考えて求めた 計算値と比較した。 波長による変化の様子は両者よく一致して いる。 なみ,自航試験時にあける前後揺は, Fn=0.15, 0.20 の 場合しか計測されなかったが, 図中に黒丸印で記入してあるよ うに抵抗試験時の結果と若干異なる。

--- 14 ----

船保運動と波との位相差に、実験が前後揺を自由にして行われているにめ、記録からの読み取り精度が落ちる。そのにめ計算値に最もよく一致すると考えられる縦揺を基準にとり、縦揺に対する工下揺の位相差を200 及び前後揺の位相差を200 を記録から読み取り、一方波に対する縦揺の位相差を005 は、O.S.M.による計算値を用い、この両者からエ下揺と波との位相差を25 友び前後揺と波との位相差を25 友求め、Fig. 3-3 に実験点として示した。位相差は、いずれも波頂が船体中央にある時を基準にとり、位相逢れを正にとっている。を25 は波長の長い場合には計算値と実験値とがかなりよく合っているが、短波長の場合の一致度はあまりよくない。一方を25 の実験値は計算値とあまりよくつい、一方を25 の実験値は計算値とあまりよく一致レていない。全般的に位相差は船速によってあまり変にしないことがわかる。

---- 15 ----

3.1.2 規則追波中にあける船体運動

規則追救中にあける自撤誘験で計測されたエ下選, 縦揺及び 前後揺の無次元振幅値をハレに対して Fig. 3-4 に示す。 図中横 軸に矢印で示しているのは, 波の位相速度と船速とが等しい場 合の ハレで, Fn=0.20 の時は ハレ=0.251, Fn=0.25の時は ハレ=0.393 である。従ってほとんどの実験は救速が船速より 速く, 波が船を追い越す状態で行めれていることになる。 図中 に 0.S.M.による縦揺, 上下揺の計算結果及び Froude-Kriloff force のみを考えて求めた前後揺の計算値を示す。縦揺, 上下揺の計 算値は実験値よりかなり大きく, その差が著しいことが わかる。 向波中にあける前後揺は, 同様な計算をした結果が実 験値とかなりよく一致するが, この追波中にあける不一致につ いては更に検討が必要である。

そこご,考えられる原因を検討するにめ水線面形状が次式で 示これる数学船型(放物線船型)を用いて,次の試算を行った。

 $y = \frac{B}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{L/2}\right)^2 \right\}$ (3.1)

ただし、しは船長、日は船幅を示す。

この場合のFroude-Kriloffの仮定による surging force F=Fasinwetは、波の進行方向を正にとると

$$F = -\frac{\$ P \$ B \$ a}{k^3 L^2} (1 - \tilde{e}^{kd}) (2 \sin \frac{kL}{2} - kL \cos \frac{kL}{2}) \sin \omega et$$
(3.2)

で与えられる。ここで、dは吃水、たは波数、Salt波振幅を表す。

---- 16 ----

これから前後揺の振幅 Xa は,船の箕量をMとして F=M芝の 微分方程式を解くと

$$x_a = Fa / M \omega_e^2 \qquad (3.3)$$

で子えられる。

次に波の粒子速度の水平成分 Uw と前後速度 え(=Us)との 相対速度変動によって生ごろ抵抗変動は、その船の定常速度付 近にあける単位速度変化に対する抵抗変化を ^{3Re}/3V とし、救 の粒子速度を d/2の所ご代表させて考えると

 $\hat{R} = \int_{Z} \left(\frac{\partial R_c}{\partial V} \cdot \frac{1}{L} \right) (\dot{x} - [u_w]_{g=-d_Z}) dL$ $= \frac{\partial R_c}{\partial V} \cdot \dot{x} + R_a \cos \omega et \qquad (3.4)$

ここに、 $Ra = -\frac{1}{L} \frac{\partial R}{\partial V} \hat{s}_{\omega} \omega e^{i \omega t} \cdot \frac{2}{\rho} \sin \frac{\delta t}{2}$ である。 (3.4) 式 * 1項は前後 揺 速度変動によっこ生ずる 抵抗変動 を示 し、 * 2項は 救の 粒子速度の変動による 抵抗変動 を示す。更に 自航している 状態を考え、 プロペラ推力変動についても考慮し こかる。 * 5章に示すように プロペラ 個内への 流入速度変動に よって推力変動を生ずるから、 プロペラ中 に位置における前後 方向 流入速度変動 を 求める と 次 のようになる。

 $\dot{x} - [\mathcal{U}_{w}]_{x=-l_{p}, s=-h}$

ただし、 $Q_{p}, h | t$ 、 それぞれ搬陸軍 にからプロペラ中バまごの水 平距離 Q び 軍直距離 ご、 船 体軍 には、 水線 面 と 一致して いると する。 プロペラの 推力 変動 t_{p} は、 波の進行 方 個 を正に とると $t_{p} = P_{tu} \left\{ \hat{z} - [\mathcal{U}_{w}]_{x=-\ell_{p}, z=-h} \right\}$ (3.5) で与えられる。ここご Ptu は (2.20) 式ごらえられるプロペラの特性値ごある。以上を考えて,前後揺の運動方程では、

$$M\dot{x} = F - \hat{R} + t_p$$

となる。ここに

 $[\mathcal{U}_{w}]_{\boldsymbol{z}=-\boldsymbol{l}_{p},\boldsymbol{z}=-\boldsymbol{h}} = \varsigma_{a}\omega e^{\boldsymbol{k}\boldsymbol{h}}\cos(\boldsymbol{k}\boldsymbol{l}_{p} + \boldsymbol{\omega}\boldsymbol{e}\boldsymbol{t})$ $\tilde{\boldsymbol{z}}\boldsymbol{z}\boldsymbol{z}\boldsymbol{u}\boldsymbol{u}, \quad \boldsymbol{h}\boldsymbol{z}$

 $t_{pa} = P_{tu} \cdot \hat{s}_{a} \omega e^{-kh}$, $t_{pc} = t_{pa} \cos klp$, $t_{ps} = t_{pa} \cdot \sin klp$

とあくと,上記の方程式は

$$M\ddot{x} + \left(\frac{\partial R_c}{\partial V} - P_{tu}\right)\dot{x} = (F_a + t_{ps})sinuet - (R_a + t_{ps})coswet$$
(3.6)

となる。この微分方程式を解くと

$$\chi = \chi_{a} \left\{ 1 + \frac{t_{ps}}{F_{a}} + \frac{1}{2} \left(\frac{t_{ps}}{F_{a}} \right)^{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial R_{c}}{\partial V} - P_{ty} M_{We} \right)^{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{R_{a} + t_{pc}}{F_{a}} \right)^{2} \right\}$$

= $\chi_{a} \left(1 + \frac{4}{J} + \frac{R_{j}}{J} \right)$ (3.7)

となる。すなわち, (3.3) 大の前後揺振幅に対して R1, R2, R3, R4 の項が加わることになる。これらの項の影響度を調べるため, 放物線搬型について計算した結果をFig. 3-5に示す。この図の 縦軸は者項の値の Xa に対する割合き%ご示したものごある.

なお計算は L=4m, B= 0.5874m, d=0.2076m, Fn=0.25 として行い, プロペラ特性係数はプロペラAの値を使用した。

この図をみると,推力変動による項R1 が最も大きいが,こ の項を含めた全体の修正 RT はNL>1の範囲で前後機振幅を大 きくする方向で,実験値は(3.3) たによる計算値よりもかなり

--- 18 ----

小さいため、このような修正によってもこの差を説明し得ない ことがわかる。従って追波中における前後揺の実験値と計算値 の不一致を解明するためには、根本的に sunging force の計算法 に対する検討が必要で、今後の課題と考えられる。

3.1.3 正面不規則波中における船体運動

不規則波中にあける抵抗試験及び目航試験で計測された上下 揺,縦揺と抵抗試験で計測された前後揺の両振幅の有義値を, 有義救高 H1/3で割った値をFig. 3-6, Fig. 3-7に示す。Fig. 3-6 は不規則波の平均波周期で、一定で有義波高を変えた場合, Fig. 3-7は有義波高一定で平均波周期を変えた場合の結果であ る。四中実験値は動揺の記録をスペクトル解析して求めた値で ある。推定值は規則近中実験で得られに動揺の振幅応管実数と 実験に使用した波スペクトラムとを用い、綿型重ね合めせ法に より求めた値で、実験値と非常に良く一致している。この場合、 波スペクトラムは出会我のスペクトラムである。また,上下揺, 縦揺については規則波中の実験報果と同様に、抵抗試験と目航 試験の粧果にはほとんど差がないことがわかる。 横軸にとった 不規則波の有義波高H1/3に対しては,船の長さと有義波高との 比 L/HBの目盛りを,また平均波周期 fo に対しては、このfo に相当した規則我の波長入。と船の長さとの比入/の目盛りも 併記してある。

— 19 —

3.1.4 航体運動に及ぼす救高の影響

波高を変化させた正面規則波中の抵抗,自航試験で計測され た上下抵, 縦抵, 前後張の両振幅を波高 Sw ベースにとり Fig. 3-8に示す。この図より船体運動振幅の波振幅に対する線型性 は, 波高が極端に高い場合を除いて非常によいことがわかる。 前後揺振幅は抵抗試験時と自航試験時とでは差が認められ,上 下揺, 縦揺の場合と相違する。

3.2 抵抗増加及びプロペラ推力,

トルク, 回転数増加

3.2.1 正面規則 波中にあける抵抗増加

正面規則波中にあける常用状態ごの抵抗試験より得られた抵抗増加の無次元係数をFig. 3-9に白丸印ご示す。 図中には抵抗 増加の近似計算法としてよく用いられる Gerritsma の方法及び Boeseの方法による計算結果を比較のため示してある。

Gerritsmaの方法による計算値は実験値とかなりよく合って いる。Gerritsmaの方法による計算結果と実験結果の比較によ ると、L/Bが大きな場合計算値は大きめな値を与え、L/Bが小 さい場合計算値は小さめな値を与える傾向にある。これに対し て Boeseの方法による計算値は全般的に短波長領域では実験値

より低く、また抵抗増加係数のビーク値が低速にならほど実験 値より高い。なみ上下揺及び縦揺を拘束した状態での正面規則 波中にあける抵抗増加係数をFig. 3-9中に黒丸印で示し、Gerritsmaの方法で船体運動のの場合の計算値を実線で示してある。

図より船体運動を拘束した場合の抵抗増加係数は救長によっ てあまり変化せず、Gerritsmaの方法による計算値はこのよう な瘠せた船型に対しては実験値と比較的よい一致を示すことが わかる。

軽荷状態にあける抵抗試験の結果得られた抵抗増加の実験値 とGerritsmaの方法による計算値をFig.3-10に示す。軽荷状態 では実験値の方が大きく計算値との一致はよくない。船体運動 の実験値は、上下揺、縦揺、前後揺とも常用状態の場合と同じ 程度に計算値と合っているが、抵抗増加は特にピーク値付近に あける相違が大きい。

3.2.2 規則向波,規則追波中にわける

プロペラ推力,トルク,回転数増加.

規則向波中にあける自航試験ご求められたプロペラ推力,ト ルク,回転数増加の無次元係数をFig.3-11に示す。一方規則追 波中の自航試験ご得られたされらをFig.3-12に示す。追波中の 値はいずれも何波中の場合に比べて非常に小さく,まに波長に よる変化の程度も小さいことがわかる。 van Sluijs ガ肥大船模 型により追波中の自航試験を行っているが,全体の傾向は今回

--- 21 ---

の実験結果とよく似ている。

3.2.3 正面不規則波中にあける抵抗增加,

プロペラ推力,トルフ,回転数増加

不規則波中での抵抗, 目航試験時に計測された抵抗, 推力, トルフ, 回転数増加量を有義波高の2束ご除した値を有義波高 ベース, 及び平均波周期ベースで Fig. 3-13, Fig. 3-14に示す。 なみ図中に規則波中実験によって得られた各増加量の応管関数 と波スペクトラムとを用いて次式ご求めた推定値も示されてい 3. $\overline{H_{AW}} = 2 \int_{\zeta_{z}}^{\infty} \frac{H_{AW}(\omega_{e})}{\zeta_{z}} \cdot \varsigma(\omega_{e}) d\omega_{e} \qquad (3.8)$

ただし、 HAW は各増加量の不規則波中における平均増加量, HAW (we)は規則波中の増加量, Saは規則液の振幅, Ss (we)はお 会波のスペクトラムである。

これらの図より, それぞれの増加量はほぼ液高の2乗に比例 していると言えるが, 推定値と実験値との一致に関しては船体 運動ほどよくないことがわかる。 ただし実用的な面からは上記 の推定法ご一応満足すべき結果が得られると考えてよい。

--- 22 ----

3.2.4 名種増加量と波高の関係

救高を変化させに正面規則救中の抵抗試験で得られた抵抗増 加量の無次元係数(Raw/935℃(B²L))を波高ベースに示すとFig. 3-15の白丸印ごあり、上下揺、縦揺を拘束した状態ごのそれは 黒丸印ご示してある。両状態とも抵抗増加係数は救高8~16 cm (L/50~L/25)の範囲ごはほぼ一定値をとり救高の2乗に 比例しているが、この範囲より低い救高ごは値がたきく、逆に 大きい救高では値が小さくなる傾向ごあることがわかる。

また波高を変化させに正面規則救中の自航試験ご計測された プロペラの推力,トルク,回転数増加の無次元係数(それぞれ, Taw/Pg Son (B*L), Qaw/Sg Son (B*L), NAW VD³/g Son (B*L)) を波高ベー スに示すとFig. 3-16 である。推力,トルク増加の波高に対する 変化の傾向は抵抗増加と同じであるが,回転数増加は若于異な ってあり,上記の波高範囲内で必ずしも波高の2 東に比例する とは言えないようごある。

また、 看種増加量が波高の2乗に比例する波高の範囲は、 入上 によっても違い、運動が激しい入上=1.0 付近ごはその範囲は狭 く、 逆に運動がゆるやかな波長域ではその範囲は広い。

____ 23 ___

3.3 第3章のまとめ

- 1. 正面規則波中にあける上下揺,縦揺の実験値を 0.S.M.による理論値と比較すると、縦揺に戻しては両者かなりよく合っているが、上下揺は火=1.0~1.5の範囲で計算値は実験値より高く、しかもその差は高速になる程大きい。
- 2。正面規則波中にあける前後揺は、Froude-Kriloffカのみを考 えて計算した結果と実験値はよく合う。しかし抵抗試験と目 航試験の結果には差がある。
- 3。規則追波中にあける上下揺、縦揺の実験値は O.S.M.によ る理論値に比較的よく合うが、前後揺については Froude -Kriloffカのみを考えて計算した結果は、実験値よりも波長の 長い領域でかなり大きな値を与える。前後揺の計算に流速変 動による抵抗変動やプロペラの推力変動を考慮してもこの差 は説明できない。
- 4。正面不規則波中にあける船体運動は、規則波中における振 幅応管閑数の実験結果と波スペクトラムとを用い、線型重ね

合わせ理論により、よい精度ご推定することができる。

- 5。 上下揺,縦揺,前後揺の振幅はかなり大きな波高の範囲(4/20 程度)まで波高に比例する。
- 6. 正面規則救中にあける抵抗増加の実験値は、常用状態の場 合縦運動自由の状態、拘束の状態とも Gervitsma の方法によ る計算値とよく一致する。しかし、軽荷状態での抵抗増加は 実験値の方が Gerritsma の方法による計算値よりもピーク付 近で大きな値を与える。

---- 24 -----

- 7。規則追救中にあけるプロペラの推力、トルワ、回転数増加は回波中の場合に比べて非常に小さい。
- 8。正面不規則波中にあける抵抗増加及びプロペラ推力,1ルク 、回転数増加の推定は、線型重ね合わせの手法により,船体 運動の推定ほど精度はよくないが,大略推定が可能である。 9。抵抗増加,推力増加,トルワ増加は、450~420の波高の 範囲ごはほぼ波高の2束に比例するが、とれより低い波高の 範囲では波高の2乗に比例する関係より大きくなり、高い波 高の範囲では小さくなる傾向になる。

第4章 波浪中の自航要素

4.1 プロペラ単独特性

, · ·

波浪中における船舶の推進性能を明らかにするためには、波 渡中におけるプロペラの特性についての研究が必要であるが, このプロペラ特性を,時面的平均値と平均値まわりの周期的な 変動値との2っに分けて考えると、前者は波浪中にあける自航 要素などの推進効率に関係するし,後者はプロやラの員街変動 などに影響する。波浪中にあけるプロペラの時間平均的な特性 については、谷口やMcCarthyらの実験結果による「波渡中のプ ロペラ単独特性は、時間平均をとれば平水中のそれと変わらな い」という立場が一貫して取られてきた。しかしながら彼らの実 験は,規則波中ごプロペラを固定して航走させた場合の単独特 性に関するものであり,船体運動によりプロペラが上下あるい は前後等に動揺する場合の影響については確かめられていない。 この点に関して、Ilyinりが平水中を強制縦揺させたプロペ ラ単独試験を実施して,推力,トルクの時面的平内値が平水中 固定の場合の値とほとんど変わらないことを調べている。ただ この実験では動揺のモードが縦揺の場合だけであり,特にプロ ペラ単独特性に影響の大きいと考えられる前後揺の場合につい ては調べられていない。以上のような観点から Table 4-1 に示 すようにプロペラボートをいろいろなモードで強制動揺させた プロペラ単独試験,及び規則波中,不規則波中のプロペラ単独 試験を実施し、 プロペラ単独特性について調査、検討を行った。

____ 26 ____

この実験秸果のうち時间平均値についてはこの章で扱い, 周期 的変動値については, ヤ5章の負荷変動の項で取り扱う。

平水中でアロヤラボートを強制上下揺,縦揺,前後揺させた 場合,及び規則液中でアロペラボートを固定して直進させた場 合の推力,トルクの平均値より推力常数 KT,トルク常数 Ko

及びプロペラ単独効率 20 を求め、前進常数丁に対して図示 すると Flg.4-1~ Fig.4-4のとおりである。それぞれの図中に 平水中でプロペラボートを固定した状態でのプロペラ単独特性 曲線が示されている。これらの結果より、液浪中のプロペラ単 独特性は、プロペラの没水深度が十分深ければ、時面約平均値 が平水中のプロペラ単独特性とほとんど変めらないことがわかる。

これらのことは、波浪中の自航要素の解析に平水中で求めら れたプロペラ単独特性を使用しても良いということを示すも9 である。

4.2 波浪中の目航要素の解析結果

正面規則波中の抵抗試験及び自航試験の結果より、 平水中の アロペラ単独特性を用いて解析し得られた自航要素の波長によ る変化の様子を Fig.4-5に示す。図中に比較のため平水中にあ ける自航要素の値を水平す破線で示してある。者自航要素とも 波長の長い場合に平水中の値に近づくが、 ^ス/L く 1.5 ごは波長 により変化し、その程度は低速ほど著しい。特に抵抗増加量の たきい ^人L = 0.9 ~ 1.3 の範囲では平水中の値からの変化が

- 27

大きい。救高を変化させた正面規則波中での抵抗試験及び自航 試験結果を解析して得られた自航要素をFig.4-6に示す。 2R は波高が増加してもあまり変化しないが, 2o は波高の増 加によるプロペラ荷重の増加によって低下し,一方(1-We)は 波高の増加とともに増加する傾向にあることがわかる。全体と しての推進効率しもこれらの原因で波高の増加とともにかなり 減少する。不規則波中の抵抗、自航試験の結果より得られた自 航要素を有義波高ベース及び平均波周期ベースで Fig.4-7, Flig.4-8に示す。規則波中の場合ごは,船体運動が激しく,抵 抗増加の大きい入/L=1.0付近で(1-We)が増加し、アロペラ 単独効率が減少する傾向を示し,特にこのような波長では,波 高が大きい場合にその傾向が顕著になっているが,不規則波中 の結果でも有義波高が大きくなると同じような傾向を示すこと がめかる。ただし、その程度は規則波中の場合ほど顕著ごはな い。平均波周期を変化させた場合の自航要素は平水中の値とほ とんじ変わらず, 有義波高を変えた場合も有義波高の低いときに は平水中の値と一致している。

7°ロペラBを用いた場合の自航要素の波長による変化の様子をFig.4-9に、波高による変化の様子をFig.4-10にそれぞれ示す。プロペラAの結果と同様な傾向を示している。これらの解析結果よりコンテナ舱のような瘠せた船型については定性的な傾向として次のような結論が得られる。

1.規則波中ご船体運動が激しいような波長ごは、Noが低下し、それが支配的な影響を及ぼして全体の几が低下する。

2. 九は波浪中でも平水中の値と大きな差がない。

3. (1-20)は搬体運動が激しい場合には増加する傾向となる。

ー方,新谷は Series 60, CB=0.8の肥えた模型船による規 則波中自航誘験結果を解析し,ある状態ごは 20 が平水中の値 より大きくなり得ることを示した。これらの矛盾する結果を統 一的に説明するためには波浪中にあける伴流計測を行って検討 を加える広要がある。そのために円環大伴流計測装置による模 型船の船尾プロペラ面内の流場測定を実施し、その結果と二次 元翼素理論を用いて自航要素に芳察を加える。

4.3 波浪中船尾流場の計測

船尾流場計測の実験状態をTable 4-2 に、実験に使用した円環大伴流計測装置の概略図及び船尾にあける模型船への取付状況をFig.4-11に示す。これは円環に働く力を図に示す片持梁の変位としてストレーンゲージにより計測して円環面内の平均流速を求める装置で、半径の異なる円環を用いることによりプロペラ面内の半径方向の伴流分布が求められる。なみ機構的には円環の径が変わったときに全体の重心の調整が可能であり、また流速分布が一様でないために生ずるモーメントの影響を逃がすことができるようになっている。この伴流計測装置の均一流中にあける静的な検定は、合円環について誘験水槽で速度を変えて行い、円環に働く力が速度の2乗に比例することを確かめ

--- 29 ---

た。また動的な検定として,装置を平水中で強制動揺させなが ら曳航させた場合及び規則救中を曳航させた場合について計測 を行った。いずれも速度一定で周波数を変えた場合と周波数一 定で速度を変えた場合について実験したが,平均値及び変動値 とも均一流中にあける静的模定結果からの推定値と良く一致し,

波渡中の伴流計測の目的に合致していることを確認した。 模型船の上下瑶,縦摇,苏後瑶を自由にし,Fn=0,20 ご正面 規則波中を曳航したときの各円環面内ごの(1-350)wの平均値 (21元:公称伴流係数)と,平水中にあける同じ円環面内ごの (1-Wh)s との比を規則液の以上をパラメータにとり VRp (Y:各円環面の中心までの半径, Rp:プロペラ半径)を横軸に とり図示するとFig.4-12のとありごある。全体に(1-Whi)w/(1-Whi)s の値が1より大きく、したがって波浪中でプロペラ面内の流入 速度の時间的平均値は平水中の流入速度より大きい点,特にフ。 ロペラ中心ほど、まに般体運動の激しい入上=1.1の場合にた きな値になっている点が注目される。これをプロペラ面内にあ ける実際の流入速度係数(1-11版)の分布として示したのが、 Fig.4-13で、波浪中にあけるプロハッラ半径方向の流速分布は平 水中のそれに比べて均一流に近くなっていることがわかる。 以上のような現象の現れる原因を解明するために,次のような 状態での船尾伴流計測を行った。

1. 模型船を完全に拘束して正面規則波中を航走させた場合

(Filg. 4-14)

2. 平水中で模型船を強制縦揺させながら航走させた場合
(Fig. 4-15)

3. 平水中強制縦揺試験ご縦揺の振幅を変化させた場合 (Fig.4-16)

4. 船体運動を自由にし、規則波の波高を変化させて曳航し に場合(Fig.4-17)

Fig.4-14の模型船を拘束して規則波中を航走させた場合には、 平水中に比べてあまり大きな(1-Wn)の増加は見られない。し かしながら平水中を強制縦揺させながら航走させた場合には、 Fig.4-15に示すように流入連度係数の平均値が平水中の値に比 べて、プロペラ中心に近いほど、また動揺周波数が大きいほど 大きくなることがわかる。また強制縦揺の振幅を大きくした場 合にはFig.4-16のように Y/Rp の大きいところごは変化ないが、

17 Rpの小さいプロペラボス付近ごはかなり大きな増加となる。 更に規則波中にあける船体運動自由の状態で、波高を高くし 下場合にも(1-Wn)が平水中より相当大きくなることが Fig. 4-17に示されている。

これらのことから波浪中にあける(1-Wh)の増加は、主に船 体運動によって生じていることがわかる。

以上はコンテナ船型についての実験結果であるが、肥えた船 型の例として Table 4-3に主要目を示す小型タンかの長さ3.439 M模型船について同様な規則波中にあけるプロペラ面内の伴流 計測を行った。船速はこの船の航海速力に相当する Fn=0.224 とし、波高5cm - 定の規則波でコンテナ船の場合と同じよう に人を変化させ、船体運動自由の状態で名円環面内の流入速 度を計測した。その結果がFig.4-18で,コンテナ船型と同様な 傾向を示すが,プロペラ中バ付近で(1-Win)w/(1-Win)s の値が 急激に増加している点が目立っている。もともとタンカー船型 ごは平水中で(1-Win)の値がコンテナ船型より全体的に小さく,

更にその半径方向分布がプロペラ中心付近で急激に小さくなる形であるため、波浪中で(1-Wn)の比がプロペラ中心に近づくにっれて急激に大きな値をとるということは、タンカー船型の場合もプロペラ面内の流速分布が波浪中では均一流に近くなっていることを意味する。

以上のようなことから,波浪中では船岸運動によって船体近 傍の粘性伴流が減少し,プロペラ面内での伴流分布が均-流に 近くなってあり,伴流の平均値も平水中より小さくなっている ものと考えられる。

上記の実験結果ガラ波浪中の自航要素について4.2で述べた 定性的な傾向を説明してみる。

Fig.4-19は縦軸にプロペラ推力丁,横軸に(1-We)をとった 図で,図中の二次曲線は平水中で作動している場合のプロペラ 荷重と同じ荷重の値となる曲線である。丁と(1-We)の関係が この曲線上にあるならばれのは同じ値をとるから,この曲線は れの一定の曲線と考えてよい。したがってこの曲線より上の領 域に丁と(1-We)の関係があればプロペラ椅重は増加し、たの は平水中より低下し、下の領域にあれば逆にプロペラ 停重が減 少したのは増大する。すなめ 5 次浪中での推力の増加量と、 (1-We)の増加量の割合によっては 2 が平水中の値より大き

--- 32 ----

くなる可能性も、また小さくなる可能性もあることになる。図 中の点は、船尾アロペラ面の伴流計測結果を用い、次節ご近べ る二次元翼素理論により求めたTと(1-We)の関係を、コンテ ナ船型と小型タンカー船型について各NLごとに示したもので ある。この図からコンテナ船型では外=1.1の場合れのが平 水中よりかなり低下するが、タンカー船型では平水中とほどん ど変わらないことがわかる。新谷による解析結果も波浪中にあけ る(1-20元)の時面約平均値が平水中の(1-2元)より大きくなる という事実から以上のように考えることによって、コンテナ船 の傾向と矛盾なく説明できることになる。次に、波浪中にあけ る(1-Wn)のプロハラ半径方向分布は、平水中に比バマ均一流 に近くなっていることから、2R は平水中に比べて1に近づく 傾向にあるものと考えられる。にドし、プロハラ翼素の揚力に 主に効くのはプロペラの回転速度であるためFig.4-13に示す程 度の流速の違いでは平水中と大きな揚力分布の違いはないと考 えられるので, 2Rは平水中とあまり変わらないと考えてもよいと 思われる。ただし、1~0内容には、流れの均一性だけごは規定 できない種々の要素を含んでいるため、上記の説明だけごは不 十分と思われる。

---- 33

を解析して求めた自航要素と,規則波中自航試験結果による自 航要素とを比較し,両者が必ずしも一致しないことを報告して いる。

4.4 二次元賀素理論によるプロハラ特性

を用いた波浪中目航要素の検討

前述のプロペラ面内伴流計測結果を利用し, 二次元翼素理論 で求めたプロペラ単独特性を用い, 推力一致法に基づき自航要 素の計算を試みた。

半径下のプロペラ翼素に流入する速度のベクトル図を Fig. 4-20に示す。液液中の船尾流場では流速がかなり変動してい るが、以下時面的平均値のみについて考える。

ニ次元翼の単位幅当りの揚力は、翼弦に平行な速度成分 Vs と、これに垂直な速度成分 Vn との積で決まるので

 $dL = \pi \mathfrak{p} L \overline{V}_{s} \cdot \overline{V}_{n} \cdot dr \qquad (4.1)$

で表される。

ただし

$$V_{s} = V_{\theta} \cos \beta_{0} + V_{\chi} \sin \beta_{0}$$

$$\overline{V_{n}} = \overline{V_{\theta}} \sin \beta_{0} - \overline{V_{\chi}} \cos \beta_{0}$$

$$\tan \beta_{0} = pD/2\pi r : (p : E^{\circ}, \neq E^{\circ})$$

$$\overline{V_{\theta}} = 2\pi \overline{N_{p}}r , \quad \overline{V_{\chi}} = \overline{V} (1-\omega)$$

$$(4.2)$$

である。(4.1)たの揚力による推力、トルクは

-- 34 ----

でよえられる。これを70日ペラの半径方向に積分し, 翼数2を かけるとプロペラ全体の推力, トルクが求められる。一方, プロペラ単独特性の KT, Kq が (2.19)式のようにJの多項式で 表これるとすると, Q, b, Cの係数は次のように表現される。

$$a = \frac{\pi^{3} Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cos^{2}\beta_{o} \sin\beta_{o} \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right)$$

$$b = -\frac{\pi^{2} Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) (\cos^{2}\beta_{o} - \sin^{2}\beta_{o}) \cdot \cos\beta_{o} \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right) \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right)$$

$$c = -\frac{\pi Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \sin\beta_{o} \cdot \cos^{2}\beta_{o} \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right)$$

(4.4)

ただし、積分はプロペラのボスからチップまごとする。 プロペラボー定ピッチの場合には、次のような関係が成りたつ。 $d = \frac{p}{2\pi}a , e = \frac{p}{2\pi}b , f = \frac{p}{2\pi}c \qquad (4.5)$

実験に使用したコンテナ船のプロペラAについて係数を求める a = 2.166, d = 0.345b = -1.567 e = -0.250 { (4.6)

$$C = -0.580'$$
 $f = -0.092$

となる。またアロペラ単独効率 l_0 は, $l_0 = J \cdot K_T / 2\pi \cdot K_q = J/p$ (4.7) でチえられ、ピッチ比 p=1の場合は、 $l_0 = J$ となる。

この方法で計算すると

 $K_Q/K_T = P/2\pi$ (=Constant) (4.8) となるため推力一致法で P_R を求めると常に1となり、 P_R に フッマは平水中と波渡中との相違が現れない。

--- 35 ----

このため池畑が行ったように抗揚比 \mathcal{E}_{i} を導入し, $dL = \pi \rho l \left(\overline{V_{\theta}^{2}} + \overline{V_{x}^{2}} \right) \sin(\beta_{0} - \beta_{i}) \cdot dr$ $dD = \mathcal{E}_{i} \cdot dL, \quad \beta_{i} = \tan^{1}(\overline{V_{x}}/\overline{V_{\theta}})$ $\ell L \subset \hat{\pi} dD \quad \delta = \delta c$ $dT = dL \cdot (\cos\beta_{i} - \varepsilon_{i} \cdot \sin\beta_{i})$ $\{ (4.10) \}$

$$dQ = dL \cdot (sin\beta_i + \varepsilon_i \cdot cos\beta_i) \cdot r$$

となる。以下,最初の方法と同様にして KT, Kqを求め,(4.4)式に相当する係数を Q', b', C', d', e', f' とあくと

$$\begin{aligned} a' &= \frac{\pi^{3}Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \sin \beta_{0} \left(\frac{r}{R_{p}}\right)^{2} \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \\ b' &= -\frac{\pi^{2}Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cdot \left(\epsilon_{i} \sin \beta_{0} + \cos \beta_{0}\right) \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right) \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \\ c' &= \frac{\pi Z}{4} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cdot \epsilon_{i} \cdot \cos \beta_{0} \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \\ d' &= \frac{\pi^{3}Z}{8} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cdot \epsilon_{i} \cdot \sin \beta_{0} \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right)^{3} \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \\ e' &= \frac{\pi^{2}Z}{8} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cdot \left(\sin \beta_{0} - \epsilon_{i} \cdot \cos \beta_{0}\right) \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \\ f' &= -\frac{\pi Z}{8} \int \left(\frac{l}{R_{p}}\right) \cdot \cos \beta_{0} \cdot \left(\frac{r}{R_{p}}\right) \cdot \left(\frac{dr}{R_{p}}\right) \end{aligned}$$

となる。コンテナ船のプロペラの場合、これらの係数は

$$a' = 2.753$$
, $d' = 0.188$
 $b' = -3.021$, $e' = 0.252$
 $c' = 0.285$, $f' = -0.435$
 $+ 12$

となる。

最初の単純翼素理論による方法もA法,抗揚比を考えた方法を

--- 36 ----

B法とし、それぞれの方法によるプロペラ単独特性をFig.4-21 に示す。ただし、抗揚比をには 0.2 一定とした。 KT, KQ の計 耳値そのものはプロペラ単独試験結果に比べ週大な値を与え実 用にはならないが、KT, KQの比としての 20 は図に示すように プロペラ単独試験結果とかなり良く合っている。自航要素はプ ロペラ単独特性に対する比として求められるので、このような 簡単な計算でもかなりの結果が期待できる。

波渡中にあける目航要素中(1-We),2R,20 は、円環式伴流計測装置で得られた名半径ごとの平均流速と、波浪中の目航 試験で計測されたプロペラの平均回転数とを用いて Vx, Vo を 計算し、これから船後にあけるプロペラ特性を翼素理論により 求め、これと Fig. 4-21に示す平水中プロペラ単独特性とから 推力-致法で解析すれば求められな。

このようにして得られたコンテナ船型の玻浪中にあける目紙 要素の計算値と、目航試験結果の解析値との比較をFig.4-22に 示す。 図中 We はプロペラ単独特性より推力-致法で求めた有 効件流係数で、Wn は円環た伴流計型装置により計測した名半 径ごとの円環面内の平均伴流を容積積分法によって求めたプロ ペラ面内にあける公称伴流係数である。(1-We)の波長による 変化の傾向は、計算値に関してはA法、B法とも(1-Wn)の傾 向と同じてある。 1R の計算値は、A法では上述のように波長 に無関係に1となるが、B法では波長による変化が求められる。

計算値を実験解析値と比較した場合、定量的には若干の差があるが、定性的には実験解析値の波長による変化の傾向をよく

- 37 -

説明していると言える。

考考のため伴流計測を行った小型タンカー船型について、B
 法による目航要素の計算値をFig.4-23に示す。この模型のプロ
 ペラ要目はTable 4-3に示してある。この模型船で自航試験は
 完全には実施してないのご目航要素の実験解析値は示してない。

定性的な傾向としてタンカー船型の場合、90が波長によっく あまり変化せず平水中の値とほとんど同じごあること、(1-We)、 (1-Wn)の平水中の値よりの増加の程度がコンテナ船型の場 合より顕著であることなどが特徴づけられており、赤坯しにコ ンテナ船型とタンカー船型との救浪中自航要素の特性の相違を 説明している。なあ、赤に示したFig.4-19のTと(1-We)との 関係は、ここで述べた方法で計算した結果を用いたものである。

38 —

4.5 第4章のまとめ

- 1. 正面規則波にあける目航要素は、船体運動が激しい入上= 1.0~1.5のあたりで波長によりかなり変化する。時にプロペ ラ単独効率は平水中の値より低下し、その影響で推進効率は 低下する。
- 2。正面不規則牧中ごの目航要素は、「有義救高が大きくなると (1-We)は増加し、なが減少し、2Kはあまり変化しないという傾向を示すが、平均化されて規則救中ほどその傾向が顕著 ではない。
- 3. 波浪中ご船体が運動することにより船尾のプロペラ面内に あける (1-W2)の時间的平均値は、平水中の値より大きくなる。 きた、 (1-W2)のプロペラ半径方向の分布は平水中の場合より 一様分布に近くなる。そのため 2R は1に近づく傾向になる と芳えられる。
- 4。(1-WD)の増加が著しい場合は、20は平水中の値より大きくなる可能性もある。
- 5。船尾プロペラ面内の流速分布から簡単な二次元翼素理論に よる計算ご推定した波浪中自航要素のうち,(1-22),1/R,1/0は 波浪中自航試験結果の解析値と同様な傾向を示し,船尾の流 場を明らかにすることにより波浪中自航要素の諸特徴が,あ る程度解明されることがわかった。
- 6。 平水中を各種のモードで強制動揺させたプロペラ単独試験 結果の時面的平均値は、平水中ご行う通常のプロペラ単独特

---- 39 ----

性と変わらない。ただし、プロペラが永面に出るような状態になるとその特性は変める。

--- 40 ----

第5章 波浪中にあける負荷変動

5.1 負荷変動の推定計算法

フロペラ貝禄変動は、主機の駆動トルクヒプロペラ貝荷トルクの不釣り合いから生じる。すなわちオ2章で示した X3 軸と X4 軸の不平衡力から生じる。回転系の回転慣性モーメントを Im とすると、回転運動の方程式は

$$2\pi \frac{1}{g} \dot{n}_e = q_e - [q_p]_e \qquad (5.1)$$

と表すことができる。 ただし [P_{p}]eはプロペラトルク変動 の主機側への換算値を示し、[P_{p}]e = P_{p}/r_{a} である。 (2.11) たより(5.1) 式右辺は

 $q_{e} - [q_{p}]_{e} = (e_{qn} \cdot \eta_{t} - \frac{P_{sn}}{r_{a}^{2}}) n_{e} - \frac{P_{su}}{r_{a}} \cdot u + e_{q\lambda} \cdot \eta_{t} \cdot \lambda \qquad (5.2)$ $\xi \cdot \zeta \cdot \delta \cdot \delta$

ふは燃料変動を示し、ガバナーの働きを示すものごあるが、ここではかバナーシステムの振幅部を Cqみで示している。更に、 ふは回転数変動を小なくするため働くから え= Cみれ・れe とあ くと最終的に(5.1)大は

 $2\pi \frac{\mathrm{Im}}{g} \hat{\mathbf{n}}_{e} + \left\{ \frac{\mathrm{Pan}}{\mathrm{r}_{a}^{2}} - \mathrm{n}_{i} (\mathrm{eqn} + \mathrm{eq}_{i} \cdot \mathrm{e}_{n}) \right\} \mathrm{n}_{e} = -\frac{\mathrm{Pau}}{\mathrm{r}_{a}} \cdot \mathrm{u} \quad (5.3)$

なる回転運動を表す,一次系の微分才程式となる。ここで

 $\hat{T} = \frac{2\pi \operatorname{Im} v_a^2}{g\{P_{\text{pn}} - r_a^2 n_t(e_{\text{pn}} + e_{\text{pi}} e_{\lambda n})\}}, \quad K = \frac{P_{\text{gu}} \cdot r_a}{P_{\text{gn}} - r_a^2 n_t(e_{\text{gn}} + e_{\lambda n})}$

とおくと (5.3) 大け

$$\hat{T} \hat{n} e + n e = -K u \qquad (5.4)$$

$$i : z^{"}$$

$$n e = \overline{n} e^{i \epsilon n} e^{i \omega t}, \quad u = \overline{u} e^{i \epsilon u} e^{i \omega t}$$

とあくと(5.4) 太の解として

$$\overline{he} = \frac{-ku}{\sqrt{1+(\omega\hat{T})^2}}$$

$$E_n = E_u - \tan(\omega\hat{T})$$
(5.5)

が得られる。

となる。

このように主機回転数変動が求まると次代によって負掠変動 量が求められる。

$$\begin{split} n_{p} &= \frac{n_{e}}{r_{a}} = \frac{-ke^{-\lambda\psi} \cdot u}{r_{a}\sqrt{1+(\omega_{T}^{-})^{2}}} \\ t_{p} &= \left(P_{tu} - \frac{kP_{tn}e^{-i\psi}}{r_{a}\sqrt{1+(\omega_{T}^{-})^{2}}}\right) u \\ \vartheta_{p} &= \left(P_{gu} - \frac{kP_{gn}e^{-i\psi}}{r_{a}\sqrt{1+(\omega_{T}^{-})^{2}}}\right) u \\ \vartheta_{e} &= \frac{-ke_{gn} \cdot e^{-i\psi}}{\sqrt{1+(\omega_{T}^{-})^{2}} \cdot u}, \quad \varphi = tan^{-1}(\omega_{T}^{-}) \end{split}$$
(5.6)

さて, Eqn, Enn はがバナー機構のようなものを表すが, ヨだ 十分検討されていないので以下,考慮しないことにする。

次に、プロペラ面内流入速度変動ルのスペクトラム表現を Su(ω) と表し、Su(ω)を使用して推力、トルフ、回転数変 動などのスペクトラム表示を求める。(5.6) 式の丸の振幅部は

$$\overline{t}_{p} = \sqrt{\left(\frac{-\kappa P_{tn}}{r_{a}\sqrt{1+(\omega \widehat{T})^{2}}}\right)^{2} + P_{tu}^{2} - \frac{2\kappa P_{tn}P_{tu}\cos\varphi}{r_{a}\sqrt{1+(\omega \widehat{T})^{2}}} \cdot \overline{u}}$$

で与えられる。ゆえにアロペラ推力変動のスペクトラム表現は、 $S_{tp}(\omega) = H_{tp}^{2}(\omega) \cdot S_{u}(\omega)$ $H_{tp}^{2}(\omega) = P_{tu}^{2} + \left(\frac{-K R_{tn}}{r_{a}\sqrt{1+(\omega \hat{\tau})^{2}}}\right)^{2} - \frac{2K R_{tn} R_{tu} \cos \varphi}{r_{a}\sqrt{1+(\omega \hat{\tau})^{2}}} \right\} (5.7)$

となる。Hup(w)は、プロペラ推力変動の流入速度変動に対する 周波数応答振幅関数を示す。同様な方法でトルク、回転数変動 スペクトル表示が得られる。

$$S_{q_{p}}(\omega) = Hq_{p}^{2}(\omega) \cdot S_{u}(\omega)$$

$$S_{n_{p}}(\omega) = H_{n_{p}}^{2}(\omega) \cdot S_{u}(\omega)$$

$$H_{q_{p}}^{2}(\omega) = q_{q_{u}}^{2} + \left(\frac{-KPq_{n}}{r_{a}\sqrt{1+(\omega\hat{T})^{2}}}\right)^{2} - \frac{2KPq_{n}Pq_{u}cosg}{r_{a}\sqrt{1+(\omega\hat{T})^{2}}}$$

$$H_{n_{p}}^{2}(\omega) = \left(\frac{-K}{r_{a}\sqrt{1+(\omega\hat{T})^{2}}}\right)^{2}$$
(5.8)

このようにして各員券変動量が得られれば、そのスパクトラムの囲む面積を求め、分散値を知ることによって統計的諸量(有義振幅値など)を求めることがごきる。 5.2 プロペラ面内流入速度変動

前応した貝栋変動の計算にはプロペラ面への流入速度変動を 求める必要がある。ここでは、フロペラ面内の代表としてプロ ペラ中心をとり、その点における流入速度変動を求める。その 結果は次式のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_w + u_m \\ v_w + v_m \end{pmatrix} = \zeta_a \omega e^{-\kappa h} \begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} (\omega_e t - \kappa l_p)$$

$$+ \omega_e \left(\frac{\sqrt{E^2 + F^2}}{\sqrt{q^2 + H^2}} \right) \begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} (\omega_e t + \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix})$$
(5.9)

ここに

U, い: プロペラ中心位置にあける前後方向及び上下方向の流入速度変動

 U_{wr}, U_{wr} : U, U のうち, 液の粒子運動による成分 Um, Um: U, U のうち, 船陸運動による成分 h : 船陸重 じからプロペラ中じまごの垂直距離 e_p : 船陸重 じからプロペラ中じまごの永平距離 $E = -x_a \sin \varepsilon_{xs} - h\theta_a \sin \varepsilon_{\thetas}$, $G = -a_s \sin \varepsilon_{xs} + e_p \theta_a \sin \varepsilon_{\thetas}$ $F = -x_a \cos \varepsilon_{xs} - h\theta_a \cos \varepsilon_{\thetas}$, $H = -z_a \cos \varepsilon_{xs} + e_p \theta_a \cos \varepsilon_{\thetas}$ $\beta_1 = -tan^1 (F/E)$, $\beta_2 = tan^1 (G/H)$ surging motion: $x = x_a \cos (\omega et + \varepsilon_{xs})$ heaving motion: $\mathcal{B} = \theta_a \cos (\omega et + \varepsilon_{\thetas})$ pitching motion: $\theta = \theta_a \cos (\omega et + \varepsilon_{\thetas})$ wave: $\zeta = \zeta_a \cos (\omega t + \kappa_x)$ (船首から船屋方向に進む返)

--- 44 ----

である。この結果を入んベースに示すとFig. 5-1 ,Fig. 5-2 で、図には派の粒子運動による成分と, 船体運動によろ成分,及び それらの合成された値が示されている。計算時のSalt4cmで ある。また、Fig.5-3にん, ひの波に対する位相差 Eus, Eus す。これらの位相差は, 波頂が船体中心に来た時を基準にして, それからの位相遅れをとっている。

次に、この流入速度変動のスペクトラム表示を求める。不規則 波の波入ペクトラムを $S_{S}(w_{2})$, 苏徐摆, 上下摆, 縦揺の振幅応 管関数をそれぞれ $H_{x}(w_{e})$, $H_{z}(w_{e})$, $H_{0}(w_{e})$ とあき, u, v-の スペクトラムを $S_{u}(w_{e})$, $S_{v}(w_{e})$ と表 すと , 次式のように なる。

$$\begin{split} S_{u}(\omega_{e}) &= S_{5}(\omega_{e}) \Big[\Big\{ \omega \cdot \bar{e}^{-Kh} \Big\}^{2} + \omega_{e}^{2} \Big\{ H_{\chi}^{2}(\omega_{e}) + h^{2} H_{\theta}^{2}(\omega_{e}) \\ &+ 2h H_{\chi}(\omega_{e}) H_{\theta}(\omega_{e}) \cos(\xi_{\chi\zeta} - \xi_{\theta\zeta}) \Big\} \\ &+ 2h H_{\chi}(\omega_{e}) H_{\theta}(\omega_{e}) \cos(\xi_{\chi\zeta} - \xi_{\theta\zeta}) \Big\} \\ &= H_{u\zeta}^{2}(\omega_{e}) \cdot S_{5}(\omega_{e}) \\ &= H_{u\zeta}^{2}(\omega_{e}) \cdot S_{5}(\omega_{e}) \\ S_{v}(\omega_{e}) &= S_{\zeta}(\omega_{e}) \Big[\Big\{ \omega \cdot \bar{e}^{-Kh} \Big\}^{2} + \omega_{e}^{2} \Big\{ H_{z}^{2}(\omega_{e}) + l_{p}^{2} H_{\theta}^{2}(\omega_{e}) \\ &- 2l_{p} H_{z}(\omega_{e}) \cdot H_{\theta}(\omega_{e}) \cos(\xi_{z\zeta} - \xi_{\theta\zeta}) \Big\} \\ &+ 2w \omega_{e} \bar{e}^{-Kh} \Big\{ H_{z}^{2}(\omega_{e}) + l_{p}^{2} H_{\theta}^{2}(\omega_{e}) \\ &- 2l_{p} H_{z}(\omega_{e}) H_{\theta}(\omega_{e}) \cos(\xi_{z\zeta} - \xi_{\theta\zeta}) \Big\} \\ &+ 2w \omega_{e} \bar{e}^{-Kh} \Big\{ H_{z}^{2}(\omega_{e}) + l_{p}^{2} H_{\theta}^{2}(\omega_{e}) \\ &- 2l_{p} H_{z}(\omega_{e}) H_{\theta}(\omega_{e}) \cos(\xi_{z\zeta} - \xi_{\theta\zeta}) \Big\} \\ &= H_{v\zeta}^{2}(\omega_{e}) \cdot S_{\zeta}(\omega_{e}) \\ &= H_{v\zeta}^{2}(\omega_{e}) \cdot S_{\zeta}(\omega_{e}) \\ &= H_{v\zeta}^{2}(\omega_{e}) \cdot S_{\zeta}(\omega_{e}) \\ &= (5.11) \\ \mathcal{O} \ \begin{subarray}{l} \pi_{z} = \pi_{z} + \pi_{z} +$$

位置の流入速度変動スペクトラムを求めることができる。 Hus(We), Hus(We)は、波に対する流入速度変動の周波数だ管振 幅実数である。

さて、船体の存在によって入財波が増乱を受け、船尾ではか なり波高が減少することが知られている。 フロハラの員券変 動に対して入財波の orbital velocity は大きな影響をもっもの であるから、このことを負券変動の計算に際してなんらかの形 で考慮する必要がある。本論では、神中が船体を固定し、船速 のの状態について三次元周期吹出しによる船体の特異点表示か ら船長方向の入財波の増乱を計算した方法と同様な方法で、船 尾プロハラ位置にあける波高減少を計算し、この波高減少をそ のまま orbital velocity の減少と考え、負券変動の計算に考慮 した。

このような方法で計算された船尾での波高を、入射波高との 比の形で かんに対して示すと Fig. 5-4のとおりである。なお、 図中に、実際にコンテナ船模型について,拘束状態で規則液中を 輸走させ、船長方向に入射液の波高の変化を計測した結果より、 船尾からなどしたがりないを求めた値、及び神中の 実験結果がら近似的に求めたたも示されている。結果的には、 この近似充は実験結果とかなりよく一致してあり、三次元周期 吹出しによる計算値は、パントの小さい場合に救高減少の割合が 実験値より大きいが、長荻長ではかなりよい一致を示している。

なみ、三次元周期吹出しによる計算値を使用する場合に、船 速がある場合に対しては、連度のの値をWeで変換して使用し

---- 46 ----

た。さて、規則浜中における自航試験の結果得られたアロペラ の推力及び回転数変動のタイムヒストリーとアロペラ単独特性 を用いて有効伴流の変動振幅を求め、これを船連ご割った形ご 計算による U/V の値と比較したのが Fig.5-5 ごある。この図 から船尾にわける入射波の波高減少を考慮したが後方向流入速 度変動の計算値が実験結果より求めた伴流変動(流入速度変動) の値にかなり近いことがわかる。

更に位相差の観点から検討するためFig.5-3に船体運動の位相差とともに推力変動の波に対する位相差をよの実験値,及び んの波に対する位相差をよの計算値が示されている。この図か う推力変動は前後揺とほぼ90°の位相差があり,したがって前 後援速度とは逆位相になっていることがわかる。また, Epse となよりなりとんの位相関係をみると、プロペラ面内への前後 方向流入速度の小さい時,推力,トルクが大きくなることを示 している。更にFig.5-3に示す有効伴流変動の波に対する位相 差とんの波に対する位相差とを比較すると数値的には若干差が あるが傾向的には良く一致していることがわかる。

これうの結果から、プロペラの推力、トルフ変動などの計算 には、プロペラ面内への流入速度変動 ル を正しく推定するこ とがは要ごあり、そのために船尾における入射液の波高減衰を 芳慮する次要があることがわかる。

- 47 -

5.3 非定常二次元翼素理論による

プロペラ奥荷変動の計算

この方法は,直進二次元翼が正弦波状に変動する突風の中を 進行する場合に,翼に働く揚力変動の応管関数を示す Sears 192 関数を用いて考える方法ごある。Flig.4-20に半径ドのプロペラ 翼素に流入する速度ベクトルが示されているが,合速度成分の 定常項に-を,非定常項に,をっけて表すことにする。

 $V_{\theta} = \overline{V_{\theta}} + V'_{\theta}$, $V_{\chi} = \overline{V_{\chi}} + V'_{\chi}$ (5.12) とすると、これらは次のように表

$$\left(\begin{array}{c} \overline{V_{\theta}} = 2\pi r \overline{N_{p}} , \quad \overline{V_{x}} = \overline{U} \\ V_{\theta}' = 2\pi r n_{p} \cos(\omega_{et} + \varepsilon_{1}) + \overline{V}\cos(\omega_{et} + \varepsilon_{2})\cos 2\pi \overline{N_{p}}t \\ V_{x}' = u\cos(\omega_{et} + \varepsilon_{3}) \end{array} \right)$$

半径下の翼素に働く揚力は、

 $dL = \pi g L V_{s} \cdot V_{n} \cdot dr \qquad (5.13)$ $\vec{z} \neq \vec{z} \neq \vec{h} \Rightarrow \vec{z} \neq \vec{z}$

$$\hat{R} = \begin{pmatrix} \cos\beta_{o} & \sin\beta_{o} \\ \sin\beta_{o} & -\cos\beta_{o} \end{pmatrix}$$

とあくと、 10, 12 と 15, 12 などの関係は

$$\begin{pmatrix} V_{s} \\ V_{n} \end{pmatrix} = \hat{R} \begin{pmatrix} V_{\theta} \\ V_{x} \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \overline{V}_{s} \\ \overline{V}_{n} \end{pmatrix} = \hat{R} \begin{pmatrix} \overline{V}_{\theta} \\ \overline{V}_{x} \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} V_{s} \\ V_{n} \end{pmatrix} = \hat{R} \begin{pmatrix} V_{\theta} \\ V_{x} \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

となる。さて

 $V_{s} \cdot V_{n} = \overline{V_{s}} \cdot \overline{V_{n}} + \overline{V_{s}} \cdot V_{n} + V_{s} \cdot \overline{V_{n}} + V_{s} \cdot V_{n}$

であるが,ア4項は微少量として無視し,残り3項を,ア1項 は定常項,ア2項は非定常項,ア3項は準定常項として扱う。

Sears 輿数 S(え)を振幅部, 位相部に分け

 $S(\hat{k}) = A(\hat{k}) e^{i \varphi(\hat{k})} \qquad (5.15)$

 $k = \omega k / 2 \overline{V}_s$ (5.16)

でチえられる無次元周波数である。

20) 規則波中の場合の計算は、(5.13)式に従って湯浅が示している ように行えばよい。ここでは不規則波中の場合の計算法を示す。

<u>(1) 非定常項(V·Vn)の取扱い。</u>

この項の非定常性は Vn に現れるが、 Vnを書くと次のようになる。 $V'_n = V_0' \sin\beta_0 - V_x' \cos\beta_0$

=
$$(2\pi r n_p sin \beta_0 - \overline{U} cos \beta_0) cos(wet + \varepsilon_1)$$

+
$$\frac{1}{2}\overline{V}\sin\beta_{o}\left[\cos\left\{(2\pi\overline{N}_{p}-\omega_{e})t-\varepsilon_{2}\right\}\right]$$

+ $\cos\{(2\pi N_p + w_e)t + \epsilon_2\}$ (5.17)

ただし、近似的に回載教変動と流入速度変動は、同相と考えて いる。

このVnのキ1項は、波との本会周波数によって生ずる変動であり、オ2、オ3項は平均回転周波数と出会周波数とによって振幅変調された高周波変動成分で、この項がなてくる点がプロペラ単独特性を利用する方法との大きな相違である。プロペラ全体から見るとプロペラの翼が等国隔に配置されていることから、オ2、オ3項は打ち消し合いヤ1項だけが残る。従ってこのオ2、オ3項は1翼だけについて見た場合に出てくる変動項である。そこで Vn を Vn1, Vn2, Vn3 と分けて別々に考えることにする。

49

(1)-a Vnj 項

この項によって生ずる場力変動スペクトラムは,(5.10)式,(5.17)式などから

$$S_{L_1}^{I}(\omega_e) = \left\{ H_0 \overline{V}_s A(\hat{k}) \right\}^2 \left\{ (2\pi r \sin \beta_o)^2 S_{n_p}(\omega_e) + (\cos \beta_o)^2 S_u(\omega_e) - 2\pi r \sin 2\beta_0 \sqrt{S_{n_p}(\omega_e) \cdot S_u(\omega_e)} \right\}$$
(5.18)

でチスられる。ただし、 $H_0 = \pi p \ell$ である。 (1)- b V'_{n_2} 項

この項によって生ずる揚力変動スペクトラムは,(5.11)大,(5.13)大などから

 $S_{L_2}^{I}(\widehat{w_e}) = \{H_0 \overline{V}_s A(\widehat{k}) sin \beta_0 \widehat{f} + \beta_{V}(w_e) \qquad (5.19)$ ざ与えられる。にだし、この場合の食は、

 $\widehat{R} = (2\pi N_p - \omega_e) L / 2\overline{V_s} \qquad (5.20)$ $\widetilde{v} = \widehat{\tau} + \widehat{\sigma} + \widehat{\sigma} + \widehat{\sigma} = \widehat{\sigma} + \widehat{\sigma}$

(1)-C Vna 項

この項によって生ずる揚力変動スペクトラムは Vh2項の場合 と同様にして

 $S_{L_3}^{I}(\widetilde{w_e}) = \{H_0 \overline{V_s} A(\widehat{\mathfrak{k}}) \sin \beta_o \}^2 + S_v(w_e) \qquad (5.21)$ ざ与えられ、この場合の食は

 $\hat{R} = (2\pi N_p + \omega e)/2V_s$ (5.22) $\vec{\tau}$ as $\vec{\delta}_{a}$

(2) 準定常項(Vn·Vs)の取扱い

この準定常項についても、非定常項で扱ったように3つの部 分に分けて扱う。それらは、

(2) - a
$$We 周$$
 我 成 分
 $S_{L_1}^{II}(w_e) = (H_0 \overline{V_n})^2 \left\{ (2\pi r\cos\beta_0)^2 S_{np}(w_e) + (\sin\beta_0)^2 S_{u}(w_e) + 2\pi r \sin 2\beta_0 \sqrt{S_{np}(w_e)} \cdot S_{u}(w_e) \right\}$
(5.23)

$$(2)-b \quad \widehat{\omega}_{e} \ \mathbb{B} - \overline{\chi} + \overline$$

(z)-C
$$\widetilde{U}_{e}$$
 周រ教成分
 $S_{L_{3}}^{II}(\widetilde{W}_{e}) = (H_{o}\overline{V}_{n}\cos\beta_{o})^{2}\frac{1}{4}S_{U}(w_{e})$ (5.25)
となる。

$$\begin{aligned} \overline{\mathcal{W}}_{e} &= 2\pi \overline{N}_{p} - \omega_{e} \\ \widetilde{\mathcal{W}}_{e} &= 2\pi \overline{N}_{p} + \omega_{e} \end{aligned}$$

である。

以上ご求めた各周波数成分を加え合わせたものが変動スペク トラムになる。場力変動スペクトラムとプロペラ推力,トルク 変動スペクトラムとの面には,

 $S_{tp}(\omega) = (\cos^{2}\beta_{0})S_{L}(\omega), S_{tp}(\omega) = (rsin\beta_{0})S_{L}(\omega)$ (5.26) の関係があろから,これより推力、トルク変動スペクトラムが 求められることになる。なあ、この方法で計算した場合,一定 ビッチのプロペラの時は,推力変動率,トルク変動率の形で表 現すると両者は全く同じになる。ここで、回転数変動スペクト ラム $S_{tp}(\omega)$ は,(5.8) 犬による理論値,あるいは計測された回 転数変動スペクトルを用いる。Fig.5-6に1翼だけ考えた場合 の推力変動スペクトルの計算別を示す。平均回転周波数(2 πN_{p})

まわりに振幅変調された高周波数成分があることがわかる。こ の成分は、入射波の船尾ごの波高滅衰を考慮すると運動との位 相関係により、We 成分とは逆に大きなパワーを持つようにな る。

5.4 実験との比較

5.4.1 プロペラ単独状態での具荷変動

負荷変動の推定計算法の確認のために、Table 4-1に示すよう な各種のモードごプロペラボートを強制動揺させたプロペラ単 独試験、及び救渡中にわけるプロペラ単独試験を実施した。

強制上下揺又び縦揺の場合には,推力,トルフ変動は見られ ない。これは,プロパラ貝 (家 変 動 が , プロペラ 面 への 前 後 方 向 流 入速度変動によっこ 生 が る と 考 えれば 当 然の 結果 で あ る。 Fig. 5-7 は, 渡 制 前 後 揺 の 場 金 の 変 動 量 を 定 常 量 との 此 の 形 ご 表示 し, 5.3 ご 述 べ に Sears 関数 を 用 い に 計 算 結果, 及 び 5.1 に 述 べ に 方 法 に よ る 計 算 結果 と 比 較 し に も の ご あ る。 後 者 の 計 算 値 は 実 験 値 と 非 常 に よ い 一 致 を 示 し こ い る。 が 者 の 計 算 値 は 実 敷 率 の 形 に す る と 推 力 変 動 と ト ル ク 変 動 は 同 じ 値 に な る が , 回 転 数 変 動 を 考 慮 し こ も 実 験 値 よ り は 高 目 ご あ る。

次に規則波中でアロペラボートを固定して直進させた場合の 推力,トルフ変動を,平均値に対する比の形で示したのがFig. 5-8 である。強制前後揺の場合と同様な結果である。

--- 52 ----

Fig. 5-9には、プロペラ回転数変動の実験値、及び駆動用モー ターの特性値 Cgnを使っての計算値の比較が示されている。実 験値と計算値の一致はよい。なお、本実験時の Cqnの値は、

eqn=-0.0226 kg·m·s であり, 比較的回転数一定の性能に 近いものである。プロペラの単独特性から求めた特性値を使い 5・1 で示した方法の計算値は, 実験値とよく合うが, それは ここで実施した動揺周波数位では, 準定常的に扱っても良いこ

とを示すものごある。

不規則救中でプロペラボートを固定して行った単独試験にあ ける推力,トルク変動スペクトラムの実験値と計算値の比較を Fig.5-10に示す。この場合も、Sears 関数を使っての計算値は 実験値よりもかなり大きく、準定常的に考えている5.1の方法 での計算値の方が実験値と良く合っていることがわかる。

5.4.2 波浪中目航時の員荷変動

ア6章で述べる波浪中における船速低下の実験時に、プロペ う推力、トルク、回転数変動を計測した。Fig. 5-11に常用状態 における回転数一定制御(eqn=-∞)、主機トルクー定制御(eqn=0)時の正面規則な中における名変動値の実験値と計算 値のに較を示す。回転数一定制御時には、短波長領域での実験 値と計算値の一致はよくないが、それ以外ごはよく合っている と言える。主機トルクー定制御時は、回転数一定制御時よりも 実験と計算の一致はよい。また、主機トルクー定制御時であって

---- 53 ----

もプロペラトルク変動があるが、これは実験値がないのご計算値だけを示している。馬刀一定制御時の、tp, Np, Sp, Se についても計算値のみを示している。

ーオ,軽荷状態にあける船速低下の実験時に計測された た, Sp, np の変動両振幅をFig.5-12に示す。図中に常用状態の実 験結果の平均線を示すが、パ/L=0.8~1.4 の肉ご軽荷状態の実 験値は非常に大きな値となるのが特徴的である。これは、プロ ペラが一部水面より露出することによる、いめゆるプロペラム ーシングの影響である。図中に示す軽荷状態の計算値には、プ ロペラが露出することの影響が考慮されていないために実験値 と合わないのであり、軽荷状態での負苈変動は、この点を考え に入れないと良い推定はごきないことがわかる。

Fig.5-13に不規則波中にあける常用状態ごの船速低下の実験時に得られた名変動量の有義値を、有義波高に対して示す。変動の振幅応管関数と、波スペクトルの重ね合わせにより推定した値も示してある。この振幅応管関数は計算値を使用している。規則波中の実験結果と同様に、回転数一定制御時の方が計算値と実験値との差が大きい。名変動量の「「義道に」、「「義波高が大きくなると、回転数一定制御方だの場合、*Apys、Spys*」は有義波高に対する直線的比例関係より大きい方へずれ、主機トルクー定制御方だの場合、*Apys*がずれてくることがわかる。

---- 54 ----

<u>5.5</u> プロペラレーシング

プロペラ員荷変動の特別な場合として、プロペラが水面より 曙出し極めて厳しい員荷変動を起す場合― いわゆるプロペラ レーシング ― には、前節ご述べてきにような方法ドけごは取 り扱うことができなく、新たにプロペラの没水深度に対する考 慮が必要となる。プロペラレーシングの例として、日本金搬研 究協会オ125部会で実施された実船実験(氷りみキ2次航)で 計測されたレーシング時の波形をFug.5-14に示す。プロペラ トルク、回転数ともに非常に大きな変動をしていることがわか る。以下、このような現象について検討する。

5.5.1 L-シング時の負荷変動と

プロペラ没水深度の相互関係

プロペラ没水深度を変にさせたプロペラ単独試験の結果より, Fig. 5-15に没水深度の浅い場合と深い場合の推力比,及びトル ク比を Io/Rp(Io:静止時のプロペラ中心まごの静止水面から の距離)の変化に対して示す。図中にプロペラを回転円盤と考 えた場合,その没水面積とプロペラ円盤面積との比の没水深度 による変化を示してある。推力比,トルク比の減少具合は、プ ロペラ面積比と同様な傾向を示すことがわかる²³⁰。

F規則設中にわけるプロペラ単独試験の結果、及び模型船を Fn=0.20ご静水中を航走させながら強制縦揺させた実験結果を Fig. 5-15と同様な回に示したのが、Fig. 5-16、Fig. 5-17である。 以上の結果は、プロペラレーシング時の波形は複雑なようご

--- 55 --

あるが、プロペラ没水深度と強い関係があり瞬時瞬時のプロペ ラ没水深度を知ることがごきれば、レーミング時の平均的な推 カ、トルクの挙動を推定することがごきることを示すものであ る。

5.5.2 プロペラ単独状態でのレーシング

規則救中にあけるプロペラ単独試験時に得られたプロペラの 推力,トルワ,回転数変動のアナログ記録をFig.5-18に示す。 回転数変動は厳しい場合ごも、レーシングをあこしていない時 の値に対して4%位しか増加していなくFig.5-14の実船の結果 と著しい相違をなしている。このことは模型実験に使用する駆 動モータと実船主機剤の性能の違いによるものごある。模型用 駆動モーターは、通常回転数-定制御がかけられてあり、かつ 回転慣性モーメントが大きいことが主な相違点である。

以下, 模型実験で使用した駆動モーターの特性値 egn = -0.00226 kg-m-s のモーヲーの場念, 回転数友動は考慮しないで 話を進める。 さて, Fig. 5-18 に示したレーシング液形を 求めるために, プロペラの没水深度の影響をFig. 5-15, -16,-17 の結果より, Fig. 5-19 のようにモデル化し, それから求めら れた成分と, 波粒子速度の水平成分から求められる成分を合成 してみる。

Fig. 5-19を簡単に次のように表す。

 $T_{T_{ov}} = \left\{ \begin{array}{l} \tilde{\alpha} (I/R_{p}) + \tilde{\alpha}' (I/R_{p} \leq A) \\ 1 & (I/R_{p} > 1) \end{array} \right\} (5.27)$

--- 56 ----

そして, 座標系をFig. 5-20のように決め, 液をS=Sacoswet と表現すると推力変動波形は

 $t_{p} = \begin{cases} -p_{tu} \cdot \mathcal{U} + \widetilde{\alpha} (\widehat{Sa}/R_{p}) \operatorname{coswet} \cdot \overline{T_{\infty}} : (\overline{I}/R_{p} \leq A) \\ -p_{tu} \cdot \mathcal{U} : (\overline{I}/R_{p} > A) \end{cases}$

で与えられる。 (5.28)

この方法で推刀変動のタイムヒストリーを計算し,実験時の それとを比較した結果をFig.5-21に示す。計算ではA=1.2 と した。前進常数了が0.5,0.6 などの場合,波形それ自体も対称 であって計算によって良く推定できることがわかる。一方丁が 小さい場合,計算値との相違が大きいうえに波形が非対称であ るのが特徴的である。これは丁が小さい場合,Aは1.2よりも 大きな値となっていることと,プロペラが水面に入る場合と去 る場合に空気吸い込みなどの影響で特性が違ってくることに原 因していると考えられる²⁴⁰

以上の事は、プロペラタ没永深度の変化による影響を(5.27) 式のように表して計算すると、レーシング時の変動諸量の振幅 は容易に推定ごきることを示すものである。

5.5.3 波浪中自脈時のレーシング

平水中で模型を自航させると、トリム、シンケージ、あるい はプロペラ位置での水面の盛りよりなどのために静止時のプロ ペラ没水深度とは異なる。この点を調査するために軽荷状態に あいてプロペラ真横、航年中で線より 8cm と 24cmの位置に 設置された抵抗線型水位計により Table 5-1に示されているよ うな実験を行った。軽荷状態の場合、模型船が静止している場 をのプロペラチップと静止水面の距離 ho は 0.013 m (10/Rp= 1.17) である。その実験結果をFig. 5-22に示す。 内側 A と外側 Bとでは相対水位に差がある。内側の場合, Fn=0.30で航走し た時 0.05 ル も没水深度が増加することになりプロペラ没水深 度の推定にはこれを無視することはごきない。図中に文献(22) に示されている静的水位と昇量の推定式。Sh/L=20×Fn/175 による結果を示すが、実験値と比較的良い一致を与えている。 次に, 波の中を航走した場合プロペラ没水深度がどのように 変動しているかを調べるために Table 5-1 に示すような実験を 行い, その結果をFrig. 5-23に示す。四中に O.S.M.による計算 結果も示す。 - 点鎖線は、 平均深度 ごあり静的水位上昇量が会 ヨルている。 I/Rp ガ 1.0より小さくなる $\lambda/L = 0.8 \sim 1.4$ の範 囲ではプロペラの一部が水面より露式してあり、 Fig. 5-12に示 したプロペラ負荷変動が非常に大きいという結果は、このプロ ペラ露出によるものであることが納得できる。

以上の事から,静的永位上昇量の推定式と O.S.M.による相対 水位変動を使えば,波浪中にみける自航状態ごのプロペラ没水 深度及びその変動は,ほぼ推定ごきると考えてよい。

これらの事実を使用して,Fn=0.20の速度で正面規則救中を 航走した時のプロペラ推力,トルクの変動量と推定量を比較し た結果が Fig. 5-24 ごある。模型の状態は軽荷状態ごある。没 水深度の変化による成分だけを考えても実験値の傾向をよく説

---- 58 -----

明するものになっている。この量がいわゆるレーシングによる 成分であるが、軽荷状態では卓越した成分になっていることが 山かる。

次に不規則波中における 看種変動量は、 レーシング現象その ものが非線型であるが、ある時面的平均値は存在するからその 変動の分散値と、 プロペラと水面との相対運動の分散値との関 係を考えてみることにする。

外側水位計日で計測された相対運動の分散値と、計測された 推力, 回転数変動の分散値の関係をFig.5-25 に示す。この図 からレーシングしている場合でも負荷変動の分散値は、相対運 動の分散値に対してほぼ直線的比例関係にあることがわかる。 このことから不規則設中にあける場合でも相対水位変動の分散 値を知ることができれば、比較的容易にどれ位の頁券の変動が あるかを推定することが可能である。なあ、ここで有義振幅な どでなく分散値の形で表示したのは、レーシングを起こしてい る場合の員荷変動は非線型な現象であり、線型な現象の分散値 と有義振幅の面のよく知られた関係が成立しているとは言い難 いからである。

5.5.4 主機-プロペラ系の回転慣性モーメントの

レーシングに及ぼす影響.

模型実験結果について回転慣性モーメントの影響については 無視してきた。模型実験では比較的良く推定値と実験値は対応

--- **59** ·

していたが、実版の場合についてはそれごは正しくない。

長さ175 m級の高速コンテナ船に装備されているプロペラの 回転慣性モーメントは文献(25)によると平均して 4.96×10⁵ Kg·cm·s² 位である. これはプロペラだけの回転慣性モーメン トであり 25 % 位の付加水,あるいは中间軸, 主機などの回転 慣性モーメントも考えて 2 倍位に とって考えてみると 9.92×10⁵ Kg·cm·s²となる。 175 Mの実船に対して 4 Mの模型を考えてみ ると, 縮率 E = 1/43.75 であり, 回転慣性モーメントを E^5 で 縮少すると模型では Ime = 0.00619 Kg-cm·s² 位になると対応 がっくものと考えられる。

本研究で用いた駆動モーターでは、カタログ数値で 0.0255 Kg·cm·S² ごあるが、20%位の増加を見込めと Im=0.0306 Kg -cm-S²となる。ゆえに Im/Ime = 0.0306/0.00619 = 5となり、 模型駆動モーターの回転慣性モーメントは実船に比べて大きく、 この略算によるとほぼち倍位の 階の重さ、になっている。こ の5倍位の差については、更に検討されればならない点がある にしても、模型駆動モーターの回転慣性モーメントの方がかな り大きな値を持っことがわかる。以下、計算にあたってはこの ことを考えて、回転慣性モーメントの影響を調べてみた。

回転運動の微分方程式は(5.1) ズご与えられているが,回転 数一定制御をかけた場合は ne=0となり Imの影響は一切なくな り現実的でない。そこご,主機トルワー定の性能の場合につい て論ずる。このとき ge=0となり(5.1) 尤右巴のプロペラトル

____ 60 ____

1変動 Bp を与えることが必要である。 Bp は, レーシング状態にあいてはプロペラが露出することによる変動成分が支配的であり, この量を推定することが重要である。 Fig. 5-17 に平水中強制縦揺の実験時に計測された推力と没水深度の位相面が示されているが, プロペラトルフも同様な変動をしていなと考えられ,このような位相面ができる時にプロペラトルクは時間的にどのように変動しているかを試算してみた結果がFig.5-26である。この場合とそのまま同じではないにしても, プロペラが露出する時のプロペラトルク変動の没水深度の変にによる成分を大略, 次のように与えて, その時の回転数変動を計算すれば良いと考えられる。そうすれば、変動の振幅値の推定は可能であろう。

$$\mathfrak{P}_{\mathfrak{p}_2} = \left\{ \begin{array}{c} \widetilde{b} \cos \omega t &: {}^{\mathbf{I}}/R_{\mathfrak{p}} \leq A \\ 0 \end{array} \right\} \quad (5.29)$$

Fだし、 flo は、没水深度の変化によって生ずるトルク変動成 分を意味する。 更に、レーシング状態では回転数が変動し、 プロペラトルクもそれに対応して変化するから、その成分を

973= Pgn·ne (5.30) とあき、(5F2+5F3)を易とし(5.1)式に代入して、それを数値 的にルンゲークッタ法ご解く。(ただし「a=1としている。)

このように計算した結果をFig.5-27 に示す。この左側の図は、プロペラが水面から際出するような状態になってもPgnの値は変化しない―― すなわらプロペラ特性が変わらないとして計算した場合の結果であるが、この場合、回転慣性モーメントの

回転数変動に及ぼす影響は大きくない。右側の因は, Pgnの進 が変わり, その影響を有効プロペラ直径の変化という形ご考慮し て計算した結果である。この時の有効直径 De の変化, Pyn の 変化及び回転数変動を示してあるが, Pyn を変化させない左側 の場合に比べて大きな変動を示し、回転慎性モーメントの影響 が強くごてくることがわかる。 Inn が大き V 時は,回転教変動 に及ぼす Pgn の変化の影響は小さいが、Imが小さくなればなる ほど Pgnの変化の影響を回転較変動は強く受けることになる。 これらの事は、 Im が比較的大き v 模型実験時の レーシング について、 Im や Pan の変化の事を考慮しないで Lーシング変 動振幅を推定しても良い推定値を与えていたことの理由である。 しかるに実搬の場合は、Im が小さいからプロペラ露出Kよ る Panの変化の影響を強く受けるために模型実験のように推定 すると良い推定値を与えない。それを避けるためには、Pynの ことを上記のように推定計算に組み込む必要がある。

さて、このように試算しに結果を主機関の立場から検討する ためには主機の特性子面とご議論することが必要ごある。

Fig. 5-28は, 175 n級高速コンテナ船の公読運転結果を用い マ主機の作動点を示したものである。模型実験時の同様な回を Fig. 5-29に示す。これは過負荷, 軽負荷の平水中自航誘験結果 であるが, 週不足のない負荷とは摩擦偽正をした状態である。 両図を比べてみると平水中自航点は模型の場合と, 実施の場合 で同じような作動状況にあると秀えられる。 Fig. 5-27に示した 結果を特性平面に重ねて示した図が Fig. 5-30 である。

____ 62 ____

図中には強制縦揺の実験ご 60% 直径が露出した場合の計測程 果と, 永川丸オマ次航ご計測された波形を読みとった結果も示 してある。図は矢印の向を動くということであり, その途中ど のように動くかは不明である。 Im × 15の結果は、実施結果のそ れなりの説明になっていることがわかる。このように, レーシ ングの向題は主機の特性チ面上ご議論してゆくことが必要と思 われる。プロペラレーシングを考えるのに、プロペラ直径の露 出量から、あるいは回転数変動量から、あるいはトルク変動量 から、などいろいろの立場、見解があるがそれらの租至の規係 は主機特性手面上で論じられて明確になるものであろう。

なみ、ディーゼル機実には調速機ガラいていることが多いが、 最終的には調速機を含めて各種の量の相互関係を論ずることが 必要ごある。

63

5.6)ンメモリーの非線型変換された波形

のスペクトル解析

レーシングのような非線型現象に対しての確率統計的な取り 扱いは、線型現象のような一般性をもった取り扱いをするには 難点がある。しかし、その非線型変換される条件に一定の制約 を子えるならばある程度一般性をもった扱いができる。前述し たようにレーシングのようなプロペラ没水深度と貝质変動量が 近似的にイ:1の対応がっくと考えられなノンメモリーの非線型 変換などはその例である。Fig. 5-31のような変換を入力又に対 してたペワトル解析を行う例として、非線型ダンピングを 含む積揺などがある。ここでは、正規過程に従う不規則変動入 カに対して、Fig. 5-31に示すようなノンメモリーの非線型変換 を受けた出力 4のスペクトラムを、入力スのスペクトラムから 求める方法を以下に述べる。

入力ス(も)から玄力生(も)への変換を次のように表す。

$$y = m(x) = \begin{cases} 0 & : x \ge \alpha \\ \kappa(x - \alpha) & : x < \alpha \end{cases}$$
(5.31)

これは次のように絶対値記号をっけた表現にもなる。

$$y = \frac{k}{2} \{ (x - \alpha) - |x - \alpha| \}$$
 (5.32)

ここご又の自己相関関数を Rx(IC), スペクトラムをSx(w)とするとそれぞれ次式で与えられる。

$$R_{\chi}(\tau) = E\left[\chi(t)\cdot\chi(t+\tau)\right]$$

$$S_{\chi}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{\chi}(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau \qquad (5.33)$$

ここで、 $\chi(t) = x_1, \chi(t+\tau) = \chi_2$ とおくことにし、 出力 y(t) の自己相関関数を Ry(て)とおくと

$$R_{y}(\tau) = E[Y(t) \cdot Y(t+\tau)]$$

= $(\frac{\kappa}{2})^{2} (E_{1} + E_{2} + E_{3} + E_{4})$ (5.34)

ご与えられる。ただし

$$E_{1} = E\left[(x_{1} - \alpha)(x_{2} - \alpha) \right]$$

$$E_{2} = E\left[|x_{1} - \alpha| |x_{2} - \alpha| \right]$$

$$E_{3} = E\left[(x_{1} - \alpha) |x_{2} - \alpha| \right]$$

$$E_{4} = E\left[|x_{1} - \alpha| (x_{2} - \alpha) \right]$$
(5.35)

である。この Ei(i=1~4)が計算できれば Ry(て)を求めることができる。以下この Eiを求める。

a) E1 項

この項は、平均値なのずれとして現れるだけであるから $E_1 = R_X(\tau) + \alpha^2$ (5.36) で与えられる。

b) E₂ 項

この項は、絶対値がついている場合の計算に利用されるプラ イスの定理を用いると

65

$$\frac{\partial E_2[|x_1-\alpha||x_2-\alpha|]}{\partial \mu} = E_2\left[\frac{d|x_1-\alpha|}{dx_1} \cdot \frac{d|x_2-\alpha|}{dx_2}\right] \quad (5.37)$$

なる関係式が戊立する。

右辺については

$$\frac{d|\chi_1 - \alpha|}{d\chi_1} = \begin{pmatrix} 1 : (\chi_1 \ge \alpha) \\ -1 : (\chi_1 < \alpha) \\ \\ \\ \frac{d|\chi_2 - \alpha|}{d\chi_2} = \begin{pmatrix} 1 : (\chi_2 \ge \alpha) \\ -1 : (\chi_2 < \alpha) \end{pmatrix}$$
(5.38)

 $\begin{aligned} \vec{x} \, \vec{x} \, \vec{y} \, \vec{y} \, \vec{y} \\ & E_2 \left[\frac{d |x_1 - \alpha|}{d x_1} \cdot \frac{d |x_2 - \alpha|}{d x_2} \right] = P \left[(x_1 - \alpha)(x_2 - \alpha) \right] \\ & - P \left[(x_1 - \alpha)(x_2 - \alpha) \right] \\ & = 1 - 2 P \left[(x_1 - \alpha)(x_2 - \alpha) \right] \end{aligned}$

と表現される。

X4, X2 が平均値Oご,等しい分散 0x2 を持ってつの正規ランダム変数で,かっその相関係数が1に近い場合

 $P[(x_1-\alpha)(x_2-\alpha)<0] \simeq P[x_1, x_2<0] exp[-\alpha^2/20_2^2]$ (5.40) が成立することが知られている³⁰⁾

X1, X2 の結合密度 (X1, X2) は.

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_x^2 \sqrt{1-\bar{r}^2}} \exp\left[-\frac{\chi_1^2 - 2\bar{r}\chi_1\chi_2 + \chi_2^2}{2\sigma_x^2 (1-\bar{r}^2)}\right] \quad (5.41)$$

で与えられるが,X1,X2 を標準備差 6元 ご割ったものを

$$n_1 = (x_1/\sigma_x), \quad n_2 = (x_2/\sigma_x)$$

とすると、その分布 閑数け、

$$F(n_1, n_2) = \int_{\infty}^{n_1} \int_{\infty}^{n_2} \frac{1}{2\pi \sqrt{1 - \overline{r}^2}} \exp\left[-\frac{n_1^2 - 2\overline{r} n_1 n_2 + n_2^2}{2(1 - \overline{r}^2)}\right] d\eta_1 d\eta_2 \qquad (5.42)$$

となる。被積分関数を fo(21, 12,下) とあき

$$L(-\eta_{1},-\eta_{2},\overline{r}) = F(\eta_{1},\eta_{2}) = \int_{\eta_{1}}^{\infty} \int_{\eta_{2}}^{\infty} f_{0}(\eta_{1},\eta_{2},\overline{r}) d\eta_{1} d\eta_{2} \qquad (5.43)$$

- 66 -
とすると

$$L(0,0,tr) = \frac{1}{4} \pm \frac{1}{2\pi} \sin^{-1}r$$
 (5.44)
となることは知られている³¹⁾

この L(-2₁, -12, r)を使うと

$$P[x_{1}x_{2}\langle 0] = P[x_{1}\rangle_{0}, x_{2}\langle 0] + P[x_{1}\langle 0, x_{2}\rangle_{0}]$$

$$= 2L(0, 0, -r) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\sin^{1}r \qquad (5.45)$$
となる。これを(5.40) 大にバスレ(5.37) 大,(5.39) 大を使
うと

$$\frac{\partial E_{2}[|x_{1}-x|||x_{2}-x|]}{\partial \mu} = 1 - \exp(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}) + \frac{2}{\pi}\exp(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}})\sin^{1}r \qquad (5.46)$$

が得られる。ただし

$$\mathcal{M} = R_{\chi}(\tau), \ \overline{r} = R_{\chi}(\tau)/\sigma_{\chi}^{2} = \mathcal{M}/\sigma_{\chi}^{2}$$

である。(5.46)式を積分した結果は、次のようになる。

$$E_{2}[|x_{1}-\alpha||x_{2}-\alpha|] = R_{x}(\tau) \left\{ 1 - e^{x} P(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}) \right\}$$

$$+ \frac{2\delta_{x}^{2}}{\tau \tau} e^{x} P(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}) \cdot \left(\theta \sin\theta + \cos\theta - 1\right) + W^{2} \qquad (5.47)$$

E た し $\sin\theta = \overline{r} = \mathcal{M}/\sigma_{\chi}^{2}$ $W = \sqrt{\frac{Z}{\sqrt{\pi\sigma_{\chi}^{2}}}} \left\{ \sqrt{2\pi} \cdot \alpha \cdot \operatorname{erf}(\alpha) + \sigma_{\chi}^{2} \exp(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{\chi}^{2}}) \right\}$ (5.48) $\operatorname{erf}(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\infty} \exp(-\frac{\xi^{2}}{2\sigma_{\chi}^{2}}) d\xi$ (誤差函数)

である。ここで、 $\alpha=0$, すなめち半波整流波形の場合を求める $E_2[|X_1||X_2|] = \frac{26z^2}{\pi} (\theta \sin \theta + \cos \theta)$ (5.49)

30) となり, 既に求められている結果と一致する。

C) E3, E4 項

E3, E4項は確率統計的には同じものである。E2項と同様な方法で求めると

$$E_3 = \gamma_0 \cdot R_{\chi}(\tau) - \alpha W \qquad (5.50)$$

FFL,

$$\gamma_{0} = Q\left(\frac{d}{\sigma_{x}}\right) - Q\left(\frac{-d}{\sigma_{x}}\right)$$

$$Q(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi}^{\infty} \exp\left(-\frac{h^{2}}{2}\right) d\eta$$

$$(5.51)$$

となる。

5.6.1 当(t)の自己相関 奥数 Ry(て)

以上で求められた E1~E4によって立力 Y(t)の自己相実関数は 次のように求められる。

$$R_{y}(\tau) = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left[\left\{ 2 - \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}\right) - 2\eta_{0} \right\} R_{\chi}(\tau) + \frac{2\delta_{x}^{2}}{\pi} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}\right) \cdot \left(\theta \sin\theta + \cos\theta\right) - \frac{2\delta_{x}^{2}}{\pi} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}\right) + W(W + 2\alpha) \right]$$
(5.52)

前と同様に X=0 とあくと

$$\left[R_{y}(\tau)\right]_{d=0} = \left(\frac{k}{2}\right)^{2} \left\{R_{x}(\tau) + \frac{2\delta_{x}^{2}}{\pi}\left(\theta\sin\theta + \cos\theta\right)\right\} \quad (5.53)$$

となり既出の結果と一致する。(5.52)式をフーリェ変換すれ ばなカ 9(むのスペクトル表示が得られなことになる。しかし、 その場合(5.52)式オ2項(Osin0+coso)のフーリエ変換は 簡単ごはない。そこご次のように取り扱うことにする。

Sino=r ざあるから

 $f(\overline{r}) = \theta \sin\theta + \cos\theta = \overline{r} \sin\overline{r} + \sqrt{1-\overline{r}^2}$ (5.54) と書ける。これを級数展開して分 2項までとると

 $f(\overline{r}) \stackrel{!}{=} 1 + \frac{3}{2} \overline{r}^2 (\equiv g(\overline{r}))$ (5.55) $t \tau_{3}$

ここご 関数 f(F)の性質を調査してみると次のような性算がある。 1。 f(F)≥1

- 2。 f(r) は Rx(て)の倍周期で変動する。
- 3。 f(F) は R_x(T) がゼロクロスする時極小値を持 ち, R_x(T) が極大値あるいは極小値を持っ時に 極大値を持っ。

-方, $g(\bar{r}) = 1 + 3\bar{r}_{2}^{2}$ なる(5.54) 犬の 閑数も同様な性質 を持っが, 重要なて=0 近傍での $g(\bar{r})$ の近(以度がよくないの で $f(\bar{r}) = f(\bar{r}) = 1 + \frac{f(1)-1}{g(1)-1} (g(\bar{r})-1)$

$$= 1 + \frac{\pi - 2}{2} \overline{\gamma}^{2} = 1 + \frac{\pi - 2}{2} \left(\frac{R_{x}(\tau)}{\sigma_{x}^{2}} \right)^{2} \quad (5.56)$$

とする。Fig. 5-32にこの近似の度合を示すが G(F) は f(F) を 極めてよく近似していることがわかる。以下f(F)のかわりに G(F) を用いることにする。この結果を使うと (5.52) 尤の Ry (T)は、次のようになる。

$$R_{y}(\tau) = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left[\left\{ 2 - \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}\right) - 2\gamma_{0} \right\} R_{x}(\tau) + \frac{\pi - 2}{\pi \sigma_{x}^{-2}} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{-2}}\right) R_{x}^{2}(\tau) + W(W + 2\alpha) \right] \qquad (5.57)$$

- 69 -

5.6.2 $\Im(t) \circ \pi^{n} \circ \gamma \to \Im(\omega)$

y(t)のスペクトラムは (5.57) 式の Ry(て)をフーリェ変換す れば求められる。 その結果は次のようになる。

$$Sy(\omega) = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left[\left\{ 2 - \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}\right) - 2\gamma_{o} \right\} S_{\chi}(\omega) + \frac{\pi - 2}{\pi \sigma_{\chi}^{2}} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}\right) \cdot S_{\chi}(\omega) * S_{\chi}(\omega) + W\left(W + 2\alpha\right) \cdot \delta(\omega) \right]$$
(5.58)

ここに S_x(ω)*S_x(ω) は入カスパクトラムのたたみ込み積分を意味し, δ(ω)はディラックのデルタ 関数ご, 次のように定義されているものごある。

$$\delta(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{\infty}^{\infty} e^{-i\omega\tau} d\tau \qquad (5.59)$$

(5.58) 式のオ2, オ3項が非線型の影響項である。

5.6.3 相当粮型化法

非線型の度合が小さい場合,相当線型化法が用いられる。この方法は(5.3/) 犬で示されている非線型変換の相当線型化係数をKegとし,次犬

 $\frac{k}{2} \{ \chi - |\chi - |\chi - |\chi| \} = \text{Keq} \cdot \chi + \Delta \qquad (5.60)$ の Δ^2 が統計的な意味にあいて最少になるように Keq を決める 方法である。 Δ^2 が最少になる Keq は、 $\langle \partial \Delta^2 / \partial Keq \rangle = 0 \ \mathcal{E}$ 解いて 求められるが、その結果は

$$K_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \delta_x^2} \int_{-\infty}^{\infty} m(x) x \exp(-\frac{x^2}{2\delta_x^2}) dx \quad (5.61)$$

となる。このm(な)に(5.3/) 犬を代入して演算すると

$$K_{eq} = KQ\left(-\frac{\alpha}{\delta x}\right) = K\left\{1-Q\left(\frac{\alpha}{\delta x}\right)\right\}$$
 (5.62)

となる。Q(ξ) は(5.51) たで与えられるものである。この係 数を使うと相当線型化スパクトラム Sy(W)は

 $\widetilde{Sy}(\omega) = K_{eq}^2 \cdot S_{\chi}(\omega) = \kappa^2 \left\{ 1 - Q\left(\frac{\alpha}{\delta_{\chi}}\right) \right\}^2 S_{\chi}(\omega) \quad (5.63)$

この $\widehat{Sy}(\omega)$ は,(5.58) 式 $Sy(\omega)$ のオ1項に対応するものであり, X=0とあいた場合に $\widehat{Sy}(\omega)$ と $Sy(\omega)$ のオ1項は一致する。

5.6.4 平均值と分散值

非線型現象の平均値や分散値は線型現象のそれの持っ意義と 化べると小さいものであろう。後者の場合、平均値と分散値に よってその現象の持っている重要な統計的請量は決まってしま うのに反して、前者の場合どれほどの意義があるかまだ不明確 と思えるが、その値は出してあく必要はあろう。平均値をme とあくと

$$Me = E[y] = \frac{K}{2}(-\alpha - W)$$
 (5.64)

で与えられる。 にだし、 W は (5.48) 式で与えられている。 分散値 σ_y^2 は、 $\sigma_y^2 = R_y(0) - m_e^2$ (5.65) で与えられ、 Ry(0) は (5.57) 武を使ってみると

$$R_{y}(0) = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left[\left\{ 2 - \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}\right) - 2\gamma_{0} \right\} \sigma_{x}^{2} + \frac{\pi - 2}{\pi} \sigma_{x}^{2} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\sigma_{x}^{2}}\right) + W\left(w + 2\alpha\right) \right] \qquad (5.66)$$

となる。これを使うと Oy は次のようになる。

 $\delta y^{2} = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left[-\alpha^{2} + 2\delta_{x}^{2} \left\{ 1 - \gamma_{0} - \frac{1}{\pi} \exp\left(-\frac{\alpha^{2}}{2\delta_{x}^{2}}\right) \right\} \right] \quad (5.67)$

となる。 メニのとすると

 $\left[\sigma_{y^{2}}\right]_{x=0} = \left(\frac{\kappa}{2}\right)^{2} \left(1 - \frac{1}{\pi}\right) \sigma_{\chi}^{2}$

(5.68)

となり既出の結果と一致する。

5.6.5 実験との比較梗討

ディジタルシュミレーションによる比較
ISSC型の波スパクトラム(有義振幅=12cm, 平均波周期=1.35
む)を持っようなラングムタイムヒストリーを発生させ、それを任意のペレベルでカットしたタイムヒストリーを作り、そのスペクトラム解析の結果と(5.58)式,(5.63)式で求められた理論値とを比較する。ただし計算ではK=1として行った。その結果をFig.5-33 に示す。図中に平均値、分散値についても実験値と理論値を示す。

スガ小さくなるほど非線型性が強くなるが、高低周波数成分につ いては、 その特徴をよく表現し得ているものと思われる。相当 線型に法は、線型項の成分についてはかなり 良く合っているこ とがいかるが、 高低周波数成分につい こはなんら表現できてい ないことがわかる。 平均値の実験と理論の一致はよいが、 分散 値は波形がた幅にカットされるようになると、 両者の一致はよ くない。

- 72 ----

2) 水線面付近にあける変動圧力による比較

水線面付近ご計測された波浪変動圧力などは前述のような波形が計測される例が報告されている。このような波形のスペクトラムは,理論的に(5.58)式を使って求めることができる。

ある計測点にあける圧力変動の理論的に求められた振幅応管 関数をH(w) とし、 汲のスペクトラムを $S_{S}(\omega)$ とすると、 その 点ごの整流されていない圧力変動の入ペクトラム $S_{p}(\omega)$ は、 約 形理論により $S_{p}(\omega) = H^{2}(\omega) \cdot S_{S}(\omega)$ (5.69) ご与えられる。

この Sp(w) を (5.58)式の Sx(w)に対入すれば整流された圧力 変動のスペクトラムが求きる。

実験ごは Lpp=3mの数学船型(円孤型)の船体中央部静止 時水面位置の,船速0にあける波浪変動圧力を計測した。圧力 の応管関数は丸尾30三次元的な方法で求められた結果を使用し た。その計測結果と理論計算結果の比較をFig.5-34に示す。 計測されたスペクトラムと計算されたスペクトラムは,非常に 良く合っていると言えよう。

このような波形は,浮遊海洋構造物の係留索などの張力にも 350 見られ,その方面でも今後応用が可能ではないかと思われる。

以上の方法をそのままレーシング波形の理論計算に使うのに は、まだいくっか解決されなければならない個題実がある。 レーシング波形をスペクトラム解析した別によると、Fig5-33 のように卓越した高低周波数成分が出てあり、本理論の示すと わりになっているが、レーシングは他の原因も案与しているか

73 -----

ら、 それらが合成されたものに対する確率統計的な検討が最終的には必要となる。

--- 74 ----

5.7 オケ章のまとめ

- プロペラ負荷変動はプロペラ面はへの前後方向流入速度変 動を知ることによって求められる。この流入速度変動に対し ては入射波の波高減衰を考慮すること、更に駆動モーターの 特性を考えることにより、プロペラ単独特性から容易に負荷 変動量を推定することがごきる。その結果は実験結果と良い ー致を示す。
- 2。アロペラ負荷変動を Sears の非定常直進ニ次元翼理論を使って求めることができるが、変動値そのものは過大な値を与える。
- 3. 不規則減中の負荷変動は船体運動の応管関数を知ることにより、与えられた波スペクトラムからプロパラ中心にあける前後方向流入速度変動スペクトラムを求めて、プロパラ単独特性を使っても、Sears 関数を使っても求めることがごきる。ただし、前者の方が実験結果とよく一致する。
- 4. Searsの理論を用いて場合、平均回転周波数の両側にほぼ 対称に、プロペラへの上下方向流入速度変動によって生づる 負荷変動のパワーが出てくる。これは1翼だけにっいて出て くる量であり、翼全体としては打ち消し合って出てこない。
 5. プロペラ負荷変動は城高のほぼ1束に比例するが、城高が 高くなるとずれが生じてくる。そのずれかたは駆動モーターの特性によって変わることから一概には言えない。従って、不 規則波中での変動有義値などは、規則波中で求められに変動 振幅応管関数を使った場合、上記のずれの範囲体であみむね

- 75 -

推定できる。

- 6。軽荷状態での推力、トルク、回転数変動の振幅は、プロペ ラが露出する影響ブス/L=1.0付近にあいて極めて大きな値と なる。
- 7。プロペラレーシング時の看変動量は、プロペラの没水深度 の変動を正確に知ることがごきれば予測することが可能であ る。
- 8。主機-プロペラ系の回転慣性モーメントは,模型実験時と 実般を比べてみると,模型の方が大きい。その影響について は数値計算で推測することはできる。回転慣性モーメント の小さい実般の場合の方が,看変動量は大きくなる。
 - このことは, 模型実験結果から実施のレーシング量を推定しょうとする場合に注意を要することを意味する。
- 9。 プロペラレーシングを主機の特性平面上で論ずることが必要である。そのことによりレーシング時の否変動講量の相互 実际を明確にすることができる。
- 10。 平水中航走時の航尾プロペラ位置ごの静的水位上昇量はかなり大きく、この量はプロペラ没水深度を正しく推定するためには悪視することはできない。
- 11。 レーシングのような)ンメモリーの非綿型変換を受ける現 象のスペクトラムを試算する方法を示し、実験結果と比較した が良い一致を示した。

76 -

第6章 波浪中にわける船連低下及び変針

前章までにおいて, 波浪中における船舶の推進性能に戻する 種尺の向題について論じてきた。

波浪中にあける船速低下, 変針の向題を解くことは, これら 波浪中推進性能の諸内容を総合的に扱うことを必然的に要求す るものとなる。

以下,この船速低下,変針の问題を,苏幸まごの成果の上に, 自然減速と意識的減速変針の何題に分けて論がることにする。

6.1 目然减速

船が平水中を航走している状態から波浪中に入ると船速が低下するが,この量を自然減速あるいは船速損失と言い, Fig. 2-2によるとC実からA実への変にを言う。この場合は、変針せかに(SN=0),かっ燃料ハンドルー定(SN=0)の条件より,(2.17),(2.18)式は

 $R_{V} \cdot \delta \overline{V} = \widehat{t} \cdot \left\{ P_{\overline{N}} \delta \overline{N}_{P} + \widehat{w} \cdot P_{\overline{U}} \delta \overline{V} \right\} + \widehat{t} \cdot P_{\overline{U}} V_{o} \delta w + \delta t \cdot T_{Po}$ (6.1)

 $P_{aN} \cdot \overline{SN}_{P} + P_{aU} (\widehat{w} \cdot \overline{SV} + Sw \cdot V_{o}) = r_{a}^{2} \cdot \eta_{R} \cdot \eta_{t} \cdot E_{aN} \cdot \overline{SN}_{P} \quad (6.2)$

<br/

(6.1)大右辺オ3,オ4項,(6.2)式左辺オ3項が自航要素の変化による影響項である。

さて, (6.1) 大左辺 Rv·SVの項であるが, C実は平水中にあ ける釣り合い点で波による抵抗増加の成分が入ってあらず, A

点ではその成分が含まれているから次のように取り扱う。 船体抵抗 R(V,X) は,平水中抵抗 Rc(V) と,波,風による抵抗 増加 RAW(V,X),(ある1ヵの海象状態にっぃて)の和として

 $R(\overline{V},\overline{\chi}) = R_{c}(\overline{V}) + R_{AW}(\overline{V},\overline{\chi})$ (6.3) k = k = 0

平水中釣り合い点 Cの船速を $\overline{V_c}$ で表し、(6.3) より $R_{V'}\delta\overline{V}$ は $R_{V'}\delta\overline{V} = R(\overline{V},\overline{z}) - R_c(\overline{V_c})$

$$= R_{c}(\overline{V}) + R_{AW}(\overline{V}, \overline{x}) - R_{c}(\overline{V}_{c})$$

$$\simeq \left[\frac{\partial R_{c}}{\partial V} \right]_{c} \cdot \delta \overline{V} + R_{AW}(\overline{V}, \overline{x}) \qquad (6.4)$$

となる。

より

この(6·4)式のままごは、 R_{AW} を知るために ∇ , すなゆち $\partial \nabla$ が 必要であり、 $\partial \overline{\nabla}$ を知るためには R_{AW} が必要となり、 そのために 繰り返し計算が必要である。 そこで $R_{AW}(\overline{V},\overline{\chi})$ を次のように表 す。 $R_{AW}(\overline{V},\overline{\chi}) \simeq \left[\frac{\partial R_{AW}}{\partial V} \right]_{c} \cdot \delta \overline{V} + R_{AW}(\overline{V},\overline{\chi})$ (6·5) ここで

 $\partial R_c/\partial V = R_{cv}$, $\partial R_{AW}/\partial V = R_{AW_V}$ $E \gtrsim L$ (6.4), (6.5) Å

 $R_{V} \cdot \delta \overline{V} = (R_{e_{V}} + R_{AW_{V}}) \delta \overline{V} + R_{AW}(\overline{V}_{e}, \overline{x}) \qquad (6.6)$

となる。 RAW(E,元)は、今向題にしている海象中にあいて平水中の速度を維時しに時の抵抗増加量である。(6.1),(6.2),(6.6)式より、 SV, SNp を求めると次のようになる。

$$\delta \overline{V} = \frac{R_{AW}(\overline{V}_{c},\overline{x}) - \delta t \cdot \overline{T}_{Po} - \left(\frac{\delta \omega}{\overline{\omega}}\right) V_{o}(R_{c_{V}} + R_{AW_{V}})}{\widehat{\omega} t \left\{ P_{TU} + \frac{P_{\alpha_{U}} \cdot P_{TN}}{R_{\alpha}^{2} N_{c} R_{c_{N}} - R_{\alpha_{N}} \right\} - (R_{c_{V}} + R_{AW_{V}})}$$
(6.7)

--- 78 ----

$$\delta \overline{Np} = \frac{\widetilde{\omega} P_{au} \{ R_{AW}(\overline{v}_{c}, \overline{x}) - \delta t \cdot \overline{T}_{po} - V_{o}(\frac{\delta \omega}{\widetilde{\omega}}) (R_{c_{V}} + R_{AW_{V}}) \} / (r_{a}^{a} N_{c} N_{t} \overline{E}_{a_{V}} - P_{a_{N}})}{\widetilde{\omega} \widehat{t} \{ P_{TU} + \frac{P_{TN} \cdot P_{au}}{r_{a}^{a} N_{c} N_{t} \overline{E}_{a_{N}} P_{a_{N}}} \} - (R_{c_{V}} + R_{AW_{V}})}$$

$$(6.8)$$

目航要素が, 船連低下する前後ご変わらないとすると(&W=ot=o) (6.7),(6.8) 大のオ2項以下は全部のになる。この両大により &V, SNp が求められれば SEn ベクトルが求められる。そのこ とにより自然減速した場合の各種の時间平均的諸量を知ること ができる。

さて、デイゼル機関にall speed governor が装備されることが多くなっているが、この場合は次のように扱う。

All speed governor は主機に対して回転数を一定にする制御を施すものであるが、ディーゼル主機の性能として主機トルクー定と考えると、 $E_{AN}=0$ 、かつ回転数一定に保っよう制御すること カラ $\delta\overline{Np}=0$ とすると、 $\delta\overline{X}=0$ の条件を考えて (6.1)、(6.2) た は次のようになる。

$$(R_{e_{V}} + R_{AW_{V}}) \cdot \delta \overline{V} + R_{AW} (\overline{V_{e}}, \overline{\chi}) = \widetilde{W} \widetilde{t} P_{TV} \cdot \delta \overline{V} + \delta t \cdot \overline{P_{0}} + \delta \omega \cdot \widetilde{t} \cdot P_{TV} \cdot V_{o}$$

$$\delta W \cdot P_{\omega} \cdot V_{o} + \widetilde{W} \cdot P_{\omega} \cdot \delta \overline{V} = r_{a} n_{R} n_{t} E_{\delta \Lambda} \cdot \delta \Lambda$$

これより

$$\delta \overline{V} = \frac{R_{AW}(\overline{V}_{c},\overline{\chi}) - \hat{\mathfrak{t}} \cdot S\omega \cdot V_{c} \cdot P_{TU} - St \cdot T_{PO}}{\widehat{\omega} \hat{\mathfrak{t}} P_{TU} - (R_{c_{Y}} + R_{AW_{V}})} \left\{ (6.9) \right\}$$

$$\delta \overline{\Lambda} = \frac{\widehat{\omega} P_{QU}}{R_{1} V_{4} V_{k} E_{01}} \left[\frac{R_{AW}(\overline{V}_{c},\overline{\chi}) - \hat{\mathfrak{t}} \cdot S\omega \cdot V_{o} \cdot P_{TU} - St \cdot T_{PO}}{\widehat{\omega} \hat{\mathfrak{t}} P_{TU} - (R_{c_{Y}} + R_{AW_{V}})} + V_{o}(\frac{S\omega}{\widehat{\omega}}) \right]$$

として、船速低下量と、その時にgovernorが必要とする燃料投入量がわかる。(6.9) たの船速低下量は、(6.7) たにあいて、 EqN=-00, すなわち回転数-定性能の主機として計算された 場合の結果と一致する。

6.1.1 自然減速に関する実験と計算の比較

自然減速に用する推定計算法の確認するために、平水中を、 Fn=0.25の速度で航走している状態を基準にして波浪中の船速 低下を計測した。その実験状態をTable 6-1に示す。

Fig. 6-1 に常用状態にあける回転数一定制御及び主機トルク 一定制御の場合の,正面規則波中にあける船連低下量と各種増 減量の実験値と計算値の比較を示す。回転数一定制御の場合, トルク増加,馬力増加は実験値の方が若干大きいが,船速低下 及び推力増加は両者の一致がよい。トルクー定制御の場合も実 験値と計算値はよく合ってあり,船速低下は回転数一定制御の 場合より大きいことがわかる。なあ,図中横軸の右端に書いて ある数値は、それぞれ平水中をFn=0.25の速度で自航している 時の値であり、平水中の場合に比較してどれ位増減しているか がわかる。また、馬力一定制御の場合は実験を行っていないの で計算値のみを示してある。

Fig. 6-2には、主機性能を表すパラメータ β(= ha² Ean)を種 反変化させた場合の正面規則波中にあける計算結果が示されて いる。図中 δV]a などのサフックス Qは、任意の主機性能である

--- 80 ----

ことを意味している。ただし、この場合の計算ざは Ya=1 とし た。回転数-足制御(β=E_{GN}=-∞)の場合に、船速低下,推力 増加、馬力増加の上限を与え、トルクー足制御(β=E_{QN}=-∞) の場合には下限を与えることがわかる。 β が馬カー定制御を表 す条件式(-Qpo/Npo= $\hat{\beta}$)より求められる-0.00354 に近い $\hat{\beta}$ =-0.004の場合,計算結果は馬カー定制御の場合とほとん ど違いがない。これらのことは、機関の性能曲線上にあける変 化前の「尔動点にあいて、回転数に対するトルクの微係数がわか れば、任意の機関性能に応じた計算を簡単にできることを示し ている。 Fig. 6-3 に不規則波中にあける実験結果及び計算結 果を、有義波高を横軸にとり図示してある。両看の一致は、満 足ゆくものである。規則波中の結果と同様に、トルクー定制御 の場合の方が大きな船速低下をきたすことがわかる。

Fig. 6-4に軽荷状態における船速低下の, Fig. 6-5 に香種自 航量の増減量の実験値と計算値の比較を示す。回転数一定制御 の場合と, トルクー定制御の場合を比較すると計算値ではかな りの差があるが, 実験値では差がないこと, 常用状態の場合と 比較すると, 計算結果と実験値との一致が良くないことがわか る。船速低下の推定計算には抵抗増加の計算値が波要であるが, Fig. 3-10に示すように軽荷状態での抵抗増加の計算値が実験値 と合わないので, 抵抗増加の値として実験値を使い船速低下の 推定計算をしに結果も図中に示してある。実験値との一致の程 度は若干改善されているが, 完全に実験値を説明し得るに至っ ていない。また, プロペラの推力, トル7, 回転数の平水中の

---- 81 ----

値よりの増減量も,船速低下の結果と同様に計算値と実験値との一致は、常用状態の場合ほどよくない。

有義波高を変えた正面不規則波中にあける船速低下の実験結果と計算結果をFig. 6-6に示すが、規則波中の場合と同様に、 回転数-定制御の場合とトルクー定制御の場合とで、実験値に は差がないことがわかる。

さて,軽荷状態の場合,プロペラは比較的容易に水面から露 出するが,これは推進性能を劣化させる。船速低下の推定計算 に必要な自航要素やプロペラ特性係数は,水面からプロペラが 露出することによりかなりの影響を受けているはずであるが, この点は計算に秀慮されていない。

船連低下の計算ごは、プロ、シラ特性は

Pan / (Pru·Pan - Prn·Pau) (6.10) の形で含まれているが、この値がプロペラ没水深度の変化によってどのように劣化するかを推定した結果がFig. 6-7 である。 この図は没水深度を変化させたプロペラ単独試験結果を参考にして求めたものである。図より船速低下に寄与するプロペラ性 能がかなり劣化することがわかる。このプロペラ特性の劣化と ともに自航要素が軽荷状態では大きく変化することから、これ らの推進性能の物化を合理的に推定計算に組み込むことが必要 ごある。

____ 82 ____

6.2 意識的減速, 变針

自然減速した後の平衡矣(Fig. 2-2 のA 矣)にあいて航行し ている時, 航長は船が安全か, あるいは危険かの判断を下し, 危険な場合に操能し安全な平衡矣に移るようにする。この能長 判断を数量化する場合, 能首加速度, プロペラレーシングなど いくつかの現象が考慮されるわけであるが, それらを以下のよ うに扱うことにする。

2個の考慮すべき現象のうちんなる現象の分散値 3~1 は、その現象の振幅応管関数を使い、与えられに波スペクトラムとの 線型車に合わせの方法によって求められるが、ある海象5、船 速V、出会い角えの周数として次のように表現される。

 $D_{i}^{2} = F_{i}(\overline{s}, \overline{v}, \overline{x})$ (6.11) ある平衡状態から微少変化 $\delta\overline{s}, \delta\overline{v}, \delta\overline{x}$ が生じた場合の分散値 $O_{i}^{2} の 増分 \delta O_{i}^{2}$ は, 高次の項を無視すると次のように表すこと ができる。 $\delta O_{i}^{2} = \frac{\partial F_{i}}{\partial S} \delta \overline{S} + \frac{\partial F_{i}}{\partial V} \delta \overline{V} + \frac{\partial F_{i}}{\partial X} \delta \overline{X}$

ここでは,一定海象(55=0)のもとごの議論をしているから

$$\delta \overline{\delta_{i}^{2}} = \frac{\partial \overline{F_{i}}}{\partial V} \delta \overline{V} + \frac{\partial \overline{F_{i}}}{\partial \chi} \delta \overline{\chi} \qquad (6.12)$$

となる。 しなる現象については限界値 Cio と、それを超す確率(限界確率)Aio が与えられ、これらの量がこの現象に対する 船の安全性の評価基準になっている。限界確率がAio になるよ うな値 Ci は、現象の極値分布が Rayleigh 分布に従うとする と

- 83 -

$$A_{io} = \exp\left(-\frac{C_{i}^{z}}{25_{i}^{z}}\right)$$
 (6./3)

となり、この式より $C_i = (-25i^2 \log A_{i0})^{1/2}, i=1,2,...,l$ (6.14) となる。 この C_i と限界値 C_{i0} を比較することにより

$$C_{io} - C_{i} < 0$$
 (6.15)

ならその現象について船は危険であり

$$C_{io} - C_i \ge 0 \tag{6.16}$$

の時、その現象について船は安全ごあると考えられる。ゆえに 船が危険な場合 (6.15) たを満たしている加個の現象について (m $\leq l$) $\delta C_{i} = C_{i0} - C_{i}$ (i=1.2,…,m) とあくと、この δC_{i} のぼけ補正するように船速を落としたり、変

針したりすれば瓶は安全域に入ることになる。(6.14)大を分散のでで彼分すると

$$4C_{i}/d\sigma_{i}^{2} = (-\log A_{i0}/2\sigma_{i}^{2})^{1/2}$$

となる。ゆえに

$$\delta C_{i} = \delta O_{i}^{2} \left(-\log A_{io} / 2 \sigma_{i}^{2} \right)^{1/2}$$

となり, (6.12)式を代入すると

$$\delta C_{i} = \left(\frac{\partial F_{i}}{\partial V}\delta \overline{V} + \frac{\partial F_{i}}{\partial \chi}\delta \overline{\chi}\right) \sqrt{\frac{-\log A_{i0}}{2\sigma_{i}^{2}}} \qquad (6.17)$$

となる。すなゆち,これはこなる現象について危険を回避する ために必要な船連低下量と変針角の 関係を与えるものである。 これを表現し直すと

$$\delta \overline{V_{i}} = \frac{\delta C_{i}}{\left[\frac{\partial F_{i}}{\partial V}\right] \sqrt{-\frac{\log A_{io}}{2\sigma_{i}^{2}}}} - \frac{\left[\frac{\partial F_{i}}{\partial \chi}\right]_{A}}{\left[\frac{\partial F_{i}}{\partial V}\right]_{A}} \cdot \delta \overline{\chi_{i}}$$
(6.18)

となる。サフックスAは、Fig. 2-2のA点にあける微係数をと ることを意味する。右辺や1項は変針しない場合に必要な意識 的船速低下量ごあり、オ2項は変針の影響項である。危険にな っている現象m個について(6.18)丸の関係式があるが、Sえ を与えて SVi を計算し、最も大きな船速低下量を必要とある現 象に対して危険困難の標齢を行うと考える。(6.18)式は(2.17) 式、(2.18) 九に加えられに新たな条件たである。しかし、(6.18) 式で示されたように SVi と SZi に任意性が残る。それを一意的 に決めるためには、更に別の条件が必要である。

その条件としては、例えば「ある入点から丫点まで航行するのに最少時面で到達せよこのるいは「入点から丫点まご最も経済的に到達せよこなどの条件が考えられる。これは最適航法の向題ということになる。この最適航法の定義はまだ定まったものはないと言いれているが、ここごは文献(37)によるところの局所的最適航法(主に大洋航海中の荒天避航に代表される。)といわれるものを考えることにする。すなわち、最適航法の问題を議論して始めて、意識的減速、変針の问題が(2./7)式、(2./8)式、(6.18) たの条件式を考えて一意的に解けることになる。

こうして求められた4っの条件大ガら波浪中の平均的釣り合い時の各諸量が求められ、最終的に船舶の挙動を知ることがごきるようになる。

- 85 -

6.2.1 意識的減速に 京す う実験と計算の 比較

意識的減速についての推定計算法の検証のために、長水槽に あける模型実験を実施し、計算と比較した。長水槽にあける実 験であるために変との出会い角は180であり、変針はしないも のとする。(SR=0)。また1つの波長(入/L=1.2,入=4.8m)に あける規則疫中の実験とする。船の安全、危険の目安として船 首加速度を選び、この船首加速度にある限界値のにを与えて、 この限界値に対して船長判断が下されると考えることにする。

本実験の場合,波周期一定,波との出会い角は180°と決まっ こいるのご,単位波振幅に対する能首加速度は速度のみの実数 となり、それを

$$\hat{\alpha} = \hat{\varsigma}_a \cdot \hat{q}(v) \qquad (6.19)$$

とあく。前述した方法と同様にして, 船首加速度 ap が限界値 acを超えている場合,

$$\delta \overline{V} = \frac{\alpha_c - \alpha_F}{S_a \cdot \frac{dG(V)}{dV}}$$
(6.20)

だけ船連を落とせば限界加速度 Qc 以下の加速度で航行できることになる。

実験は燃料投入量として駆動モーターの制御ボテンショメー ターのダイアルを考え、それを 6K =-1,-2,-3,-4と減少させて 波高変化に対応して船首加速度、船速、プロペラ推力、回転数 などを計測した。駆動モーターは主機トルクー定を模擬した。(Ean=-0)。Fig.6-8に波高に対する船首加速度、船速低下、 ダイヤル(燃料投入量)を示し、Fig. 6-10にその時のプロペラ 推力, 国転数の増減量を示す。(6.19)式に対応するものとして O.S. M.から求められる船首加速度の結果から燃料投入量(本実 験の場合は、ポテンショメータのダイヤル変化量)などを求め た場合と、実験ご得られた船首加速度の結果を使って計算した 結果の両者を示してあるが、船首加速度として実験結果を使っ て求めたる種の推定結果は実験結果とよく合ってあり、船首加 速度の計算が、実験結果と合致するならば、計算によって危険 国避に必要な燃料投入量減少の推定計算は、良い推定値を与え るであろうと期待される。なみ、Fn=0.25 ご平水中を航行して いる状態を最初の基準状態に選んである。 6.3 第6章のまとめ

- 2. 回転数一定制御の場合,平水中の値に比べ堆力,トルワ, 馬力ともに増加し、その増加量に各制御方式による値の上限 を与える。
- 3。トルクー定制御の場合、平水中の値に比べ回転数、馬力は 減少し、推力はわずかに増加する。その減少量、増加量は名制 御方夫による値の下限を与える。
- 4. 主機関の性能を表す Fon 値を種尺変化させることで, 任意の主機関に対応する船連低下等を容易に計算することができる。実際には, 主機のトルフー回転数曲線(性能曲線)の定 常運転附近での微分係数がわれれば, その主機特性に見合っ た船連低下を計算することができる。
- 5。回転数一定制御とトルクー定制御の場合とで、常用状態の 場合、両者の差は明らかにでたが、軽荷状態の場合には明確 な差がない。軽荷状態の場合、船速低下量、推力、トルク、 回転数の増減量の計算値と実験値の一致は、常用状態の場合 ほどよくない。その理由として、抵抗増加量の計算と実験の不 一致と、プロペラが一部露出状態になることによるプロペラ 性能の劣化が考えられる。

--- 88 ----

第7章 実船に関する一つの試算例

波浪中にあける船連低下, 凌針の向題に関して実搬を例にと リーつの試算を行った。計算は日本造船研究協会为108,125 部会の研究で使用されてきた高速コンテナ船($L_{PP}=175m$)を 対象にして行った。 各現象の限界値や限界確率は文献(38)と同 じにとり, 分散値は「SR125高速コンテナ船の耐航性諸要素計 算とりまとめ、担当 日立技研, 大阪府大. 昭和50年3月」の 結果を利用した。計算に傾に限界値や限界確率をTable7-1に示す。 計算では. $\eta_t = \eta_R = 1$, 滅速比 G=1, デーゼ に船を考え Eav

=-0 とし, (1-t), (1-w)はまず平水中の値を使用した。

Fig. 7-1に不規則我の平均波周期5種類, ISSC型のスペクトラムで有義波高を変化させた場合の船速低下の計算値を示す。

計算は2=180°(何波),150°,720°に対して行った。図中, 破線は自然滅速を示す。船が危険になり針路を保持したます危険回避に必要な滅速をした結果が実線であり、この速度まで落と せば安全ということである。この場合の船長判断では海水打込 みが最も苛酷であった。

次にあるX点とY点を考えてY点の方からX点の方に抜が来る状況を考え「XからYまご,最短時间ご行くようにせよっという条件で解いた結果の一例が Ry. 7-2 である。図中太い実線で示したのが最少時间ご航行することがごきる航法である。すなわち Hy3 = 7m, 元=10.3 秒位の荒れた不規則海面ごは, に対して 60° 変針して進行し、XYの中间点ご反対側に 60° 変

89

針して進むのガー番早く, かっ安全に目的地に到着ごきるということごある。

次にFig. 2-5 から求めた EQA を使用しFig. 7-2 に対応して船 が安全に航行できる変針角と燃料投入量の限界線を求めたのが Fig. 7-3 である。 Fig. 7-2 と対比してみると、この海象ごは、 60°変針し燃料を約2 Kg/hour・rpm 減少させて走ると安全ごあ り、かっ - 番早く目的地に到着するがその時の船速はほぼ21 転位ということになる。この時の初期状態は Fn=0.30、V= 24.16 杖 こある。

Fig. 7-4は自然減速の場合,主機トルクー定の場合と回転数 - 定の場合ではどの位の燃料投入量に差があるかを試算したものである。 の回転数一定は結果として all speed governor を取り付けたこ とになるから,両者の差分をgovernor が補充すると平水中と 同じ回転数で航行できるということである。

7.1 目航要素の影響について。

前述の計算ごは、自航要素は平水中の値を用いたが波浪中ではその値が変化するから、その影響について考える必要がある。

波浪中の自航要素は波の周波数や振幅に依存し簡単な问題ごはないが、現在まごの研究結果では伴流係数心と推力減少係数 たは平水中の値に比べて減少し、2Rは1に近づく傾向にある。 そこご(1-20)、(1-2) 共に平水中の値に比べて1割ずったきく した場合の計算の一例をFig. 7-5 に示す。この結果は自然減速

の結果であるが, 平水中の自航要素の値より変化させた方が回 転数減少が小さく, 船速低下量も小さく なっている。このよう に波浪中にあける船速低下の推定精度 向上のためには, 波浪中 の自航要素の正確な推定法について更に研究が深められる必要 がある。

7.2 主機 肉ガらみ た運航制限

さて、文献(39),(40)には、見掛け入りップを意識的滅速、変 針をするための船長判断の包括的指標と考えている場合の向題 を述べているが、仮にそれが可能ごあれば極めて簡便な判断指 標ごある。そこご等見掛け入りップ線を求めて他の現象(この 場合、 危険回避のための操縦の原因となった海水打込み)の安 全性基準との兼ね合いを示したのが Fig. 7-7である。これによ ると見掛け入りップの安全性基準を一応 25 % と汚えてみると

---- 91 --

それは安全ごあっても海水打込みは定険状態になっている領域 もあるし、その逆もある。また、波に対するな会い角一定のま まごは船速を落としても見掛け入りップは小さくならず、かえっ て増加する。見掛け入りップを下げようとするならず、かえっ ことが必要なことがめかる。これらのことからみ5%見掛け入 リップドけごは船長判断の包括的指標とするには若干無理があ ることがめかる。さて、ここご計算された見掛け入りップ練を Filg、7-6の主機特性平面上に示してみた。図中の領域①は、主 機関の短時間運転可能領域ごあるが、この見掛け入りップ練は この主機の作動制限をも代表していると考えられて、 縦長判断 というものはそれなりの合理性をもったものと言えよう。

なあ実船の公試結果の解析によると計算対象の高速ユンテナ 船の見掛けスリップはほとんどのであり、本計算による平水中 の見掛けスリップものである。すなわち、見掛けスリップの5% 増加ということは平水中に比べて正味のスリップ増加量である。

7.3 運航の最適化

波浪中にあける船舶性能の総合評価というものは当然簡単に ごきるものごはない。しかし、安全ごかつできるだけ早く、低 燃費ご船が運航されるのが良いということは一致する内容であ ろう。本試算例で、XY両地点自を50 海里(約92.6 km), その正面攻で海象の変化はないとし、X点からY点まご航行す

___ 92 ___

るのに要する時间个(hour)と単位時面当りの燃料消費量 Ah (Kg/hour)を求めてみたのが Fig.7-8である。この図から-フ の評価として時間を考えてみると、120°に変針し中間点折り返 して走るのが早いが、燃料の問題からみると船速が遅くとも向 波状態で航走するのが低燃費でよい。ただし、向波状態の場合、

海水打込みなどの現象に対しては安全ごあるが見掛けスリップは25%を優に超えている。120に変針した場合は、25%スリップ内にあさまっている。

ここご、1つの評価係数として

 $\hat{J} = \alpha_1 T \cdot \alpha_2 \Lambda_h T$ = $\alpha_1 \alpha_2 T \cdot F$ (hour.kg) (7.1)

のようなものを考えてみる。 ただし, Fは燃料消費量 (kg) ざ ある。これは, 短時间ざかっ低燃費ごあればあるほど良しとす る, すなわち子は小さい方が良いと評価すると考えたものであ るが, その結果も図示されている。 Q1, Q2は時间と燃料消費量 に対する重み係数である。計算ごは, Q1=Q2=1としている。

さて、これに見掛けスリップ、あるいは海水打込みのことを 考えてみると(Fig. 7-7)140 前後に変針して進むのが、ここ ご出された条件をそれなりに満たして最も良さそうということ になる。

- 93 -

7.4 第7章のまとめ

- 本試算例では、海水打込みが一番厳しい条件であった。
 2、主機性能を E_{OW}, E_{ON} の2つの係数ご代表させることにより 主機特性の向認を耐航性分野の研究の中に位置づけることが できる。
- 3。見掛けスリップだけでもって船長判断の包括的表現とする ことには難点があるが、見掛けスリップとともに船存運動に よる諸現象を秀康に入れて船長判断を表すことは合理性のあ る考え方である。その場合、見掛けスリップは主機関の運航 制限を代表するものとも考えられる。
- 4。 荒れた大洋航行中の船舶の最適な操船というものをどのような評価でもって決めるか(評価関数をなににするか)ということは、今後更に、検討が必要である。
- 5。
 定陳回避の
 ために
 必要な
 減速,
 変針量は、
 前記の
 最適な
 操
 船という
 条件を
 対加する
 ことにより、
 一意的
 に決められる。

第8章 結 論

本論文で波浪史を航走する船舶の挙動を比較的容易に表現す る方法を示し、その妥当性にフいて各章にあいて論じ、各章ご との結論を示してきた。

船舶の機能, 挙動を総合化して表現しょうとするならば, 船舶を船体, 推進器, 主機, 操船者(船長) と4つのたきな機能別ブロックに分類して考えるのが有効ごあり, プロペラ特性係数や自航要素を始めとする諸係数は, それらの機能を集中的に表現するものであるとともに, それらの相互関係を規定するものであることを示した。

その相互関係は、船体抵抗レプロペラ推力の釣り合い、プロペラトルクと主機トルクの釣り合い、船長判断を示す安全性基準と船連低下量、変針量の関係、そしてある意味に定義された最適なる操船を実現するための船連、燃料消費量、針路などの関係、という4つの大枠の関係を決めてやることで求められ、それによって波浪中における船舶の挙動は一意的に決められることを示した。このうち前=者の関係は、基本設計段階で、船型、プロペラ、主機が決定されればその船固有のものとなるが、後= 者の関係は、その船舶に要請される話事情によって変わり得るものである。

上記の事は、 波浪中にあける船舶の挙動を精度よく知るため には, 右機能を抽象化して表現している諸係数とともに, 相互 の風係を規定する 古係数を精度よく求める必要があることを数 えるもので, そのことが方のあの研究テーマとして深められて

--- 95 ---

ゆくべき課題でもある。ア2章にあいてこれらの事が論じられた。

オ3章において,船体運動や抵抗増加が高速コンテナ船のような比較的瘠せに船型の場合,計算値と実験値が良く合うこと,

及び船体運動の波振幅に対する綿型性は極めて良いこと,抵抗増加の波高の2東に対する綿型性は船体運動ほどではないにしてもよい、という事を示した。

24章にあいて, 波浪中の目航要素の平水中のそれと違う動 的な時徴点を明確にし, 定性的な諸性質とともに船尾流場の資 料をもとに定量的な議論も可能なことを示した。ただしこの目 航要素というものは船体運動のように, 重ね合わせの方法が論 理的には不可能であるから(粘性の肉題がからんでくるから), 不規則海面にあけるその値の推定法に関して今後重要な課題と なろう。

オ5章にあいて、プロペラ負荷変動,そしてその截しい場合と してのプロペラレーシングについて論じ、その推定計算法を示 した。そして実般のレーシングと模型実験によるレーシングの 相違点を示すとともに、レーシングの向題を主機特性平面とで 論ずる事の広要性を示した。

为6章にあいて,船速低下,変針の向題を扱い船速低下の推 定計算と実験結果の良い一致をみることができに。意識的減速,

変針を解く時に必要となる船長判断を数量化する場合, 各現 象に子えられた安全性基準の相互関係--どの基準が最も苛酷な 条件か,あるいは安全性基準の苛酷度の順位--を明確にし, 操

-- 96 ----

船者が考慮すべき判定現象及びその条件について今後整理が以 要である。

オワ章にあいて、175m級の高速コンテナ船について、船速 低下などの一つの試算例を示した。船舶の最適な操船とは沥か、

操船に対してどのような評価基準を設けるか,などの点につ いては更に検討が必要ごある。

97

謝 辞

本研究に関する事とともに,著者の研究生活全般にわたり一 貫して指導,激励を賜りました大阪大学教授,中村彰一先生に 心から感謝の意を表し,あ礼申し上げます。

研究途上にあける著者の疑向などにっいて、なにかと助言, 討議を頂いに大阪大学助教授 一鈴木敏夫先生、大阪府立大学 講師 細田龍介先生に対し、あ礼申し上げます。

著者と共に,当時大阪大学大学院工学研究科前期(修士)課程で,共同して研究生活を送られた者氏,根间 清氏,井上盛 天氏,井上隆一氏,井上 昭氏,木下奥辛氏, 東 正一氏, 松 本光一郎氏 に対して厚く敬意を表します。

最後に,物心両面にわたり著者を支えてくれた妻, 弘子に感 謝します。

笏考文献

- 1) 中村彰一: 耐航性の諸要素, 日本造船学会, 耐航性に関 するシンポジウム, 昭44.12, p.121.
- 2) 田主福造他:肥大船の耐航性能に関する研究, 西部造船 会会報、 オ37号, 昭44.2, P.205.
- 3) 丸尾 孟:波浪中の船体抵抗増加に関する研究, 造船協 会論文集, サ101 号, 昭32.8, p.33; サ108号, 昭35.12, p.5.
- 4) 細田龍介:斜波中にあける船体抵抗増加に関する研究, 日本造船学会論文集, オ133号, 昭48.6, p.7.
- 5) J.Gerritsma & W.Beukelman:Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo Ship, I.S.P., Vol.19, No.217,Sept.1972, p.285.
- 6) 高橋利衛:内燃機 (20) 調速について(その1)(その2), 日本機械学会誌, オ62巻, オ483号; 昭34.4, オ484号, 昭34.5.
- 7) P.Boese: Eine einfache Methode zur Berechnung der Widerstandserhöhung eines Schiffes im Seegang, Schiffstechnik, Bd.17, Heft 86, Apr. 1970, p.29.
- 8) M.F.van Sluijs: Performance and Propeller Load Fluctuations of a Ship in Waves, Netherlands Ship Research Centre TNO Report No.163S, Feb.1972.
- 谷口中: 波浪中の推進性能, 造船協会誌, オ383号, 昭36.8, p.315.
- 10) J.H.McCarthy, W.H.Norley & G.L.Ober: The Performance of a Fully Submerged Propeller in Regular Waves, DTMB Report 1440, May 1961.

--- 99 ---

- 11) V.M.Ilyin, V.S.Shpakoff & A.I.Smorodin: The Estimation Methods for Ship Added Resistance and Propulsive Characteristics in Seaway, Symp.on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, Apr. 1974, p.413.
- 12) 新告 厚:規則波中推進効率に関する水槽試験例(判報), 日本造船学会試験水槽委員会, オ2部会資料, SK-36-12, 昭48.8.
- 13) J.Gerritsma, J.J.Bosch & W.Beukelman: Propulsion in Regular and Irregular Waves, ISP, Vol.8, No.82, June 1962, p.235.
- 14) 中村彰一, 細田龍介, 新谷 厚: 波浪中の推進性能に関 する研究, 関西造船協会誌, オ134号, 昭44.12, p.23.
- 15) 池畑光尚: 目航要素に及ぼす不均一流場の影響, 日本造船学会試験水槽委員会, カ1部会資料, 昭50.1.
- 16) 神中龍雄: 波の強制力について, 造船協会論文集, オ103 号, 昭33.7, p.47。
- 17) 神中龍雄: Periodic Source の計算とその応用例(続), 造船協会論文集, オ108号, 昭35.12, p.1.
- 18) 井上盛夫:波浪中の推進性能に威する研究,大阪大学大学院工学研究科修士論文,昭50.3.
- (9) W.R.Sears: Some Aspects of Non-stationary Airfoil Theory and Its Application, Jour. Aero. Sci., Vol.8, No.3, 1941, p.104.
- 20) 湯浅 肇:斜波中の船体運動によるプロペラ負荷変動の 算定(その1), 日本造船学会論文集, オ136号, 昭49.12, p.69.

____ 100 ____

- 21) 田崎 亮:波浪中の自航試験における駆動機の特性, 造船協会論文集, オ101号, 昭32.8, p.25.
- 22) 日本造船研究協会オ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,研究資料 NO.211, 昭50.3.
- 23) 小川原陽一, 岩田省治, 辻田 孝, 佐々木弘蔵:コンテ ナ船のような高速船舶用デーゼル主機の荒天時にあける 調速, 三菱重工技報, Vol. 8, No.1, 昭46.1, P.51.
- 24) 田崎 亮: 浅没水深度の波浪中オープンテスト結果,日本造船研究協会オ125研究部会資料, SR125-19-13, 昭49.9.
- 26) A.Schiff: 舶用主機の 開発動 何, 出力率の 増大一, 日本 舶用機 関学 会誌, オ11巻, オ6号, 昭51.6, p.47.
- 27) 高橋 雄: プロペラレーシングに 東する水槽試験例,日本造船学会試験水槽委員会オ2部会資料, SK52-3, 昭52. 11.
- 28) 山内保文:波浪中船の応管特性の統計的解析に関する三, 三の芳察―インパルス応管の推定と非線型要素のスペク トラム計算への影響,造船協会論文集, オ117号, 昭40.6, p. 102.
- 29) L.A.Vassilopoulos: Ship Rolling at Zero Speed in Random Beam Seas with Nonlinear Damping and Restoration, J.S.R., Vol.15, No.4, Dec.1971, p.289.

- 30) アタナシアス・パポリス:工学のための応用確率論,東 海大学出版会(平岡憲ニ他訳)
- 31) Leon.E.Borgman: Random Hydrodynamics Forces on Objects, Annals of Mathematical Statistics, Feb.1967.
- 32) 中村彰一, 斎藤公男, 磯崎芳男:船体に働く波浪変動圧 に () 2 研究 () 2 報),))))) () 156 号, 昭 50.3, p.45.
- 33) 丸尾 孟, 佐々木敬之: 向い波の中の細長い物体に働く
 波圧について, 日本造船学会論支集, ヤ136号, 昭49.12,
 p. 107.
- 34) 木下要幸:規則波中の船体近傍の変動流場についての研究,大阪大学大学院工学研究科修士論文,昭52.3.
- 36) J.M.J.Journée: Prediction of Speed and Behaviour of a Ship in a Seaway, Delft University of Technology, Report No.427, March 1976; ISP, Vol.23, No.265, Sept. 1976, p.285.
- 37) 細田龍介, 黒井昌明: 最適航法, 日本造船学会, ヤ2回 耐航性に 関するシンポジウム, 昭52.12, p.211.
- 38) 北沢孝宗, 黒井昌明, 高木又男:コンテナ船の波浪中での限界速度, 日本造船学会論文集, オ138号, 昭50.12, p.269.
- 39) 日本海難防止協会:大型専用船の運航の安全対策に関する調査研究 完了報告書,昭46.
- 40) 宮本雅史:限界速力による主機およびプロペラの決定に フッマ,日本造船学会誌,オ574号,昭52.4, p.1.
- 41) 日本航海学会:船舶の荒天運航に戻するシンポジウム, 昭48.2.

List of Tables

Table 2- 1	Principal particulars of container ship model and propellers
Table 3- 1	Test conditions of resistance and self-propulsion tests in
	regular waves
Table 3- 2	Test conditions of resistance and self-propulsion tests in
	irregular waves
Table 4- 1	Test conditions of propeller open-water tests
Table 4- 2	Test conditions of wake measurements in propeller disc
Table 4- 3	Principal particulars of tanker model and propeller
Table 5- 1	Measuring conditions of static swell up in still water and
	relative motion in waves at propeller position
Table 6- 1	Test conditions of speed drop tests in regular and irregular
,	head waves

Table 7-1 Factors of Seaworthiness

,

List of Figures

	List of Figures
Fig. 2- 1	Block diagram of propulsive performance of ship in waves
Fig. 2- 2	Vector representation of propulsive performance of ship in waves
Fig. 2-3	Propeller open-water characteristics (propeller A)
Fig. 2- 4	Trial results of 175 m length container ship
Fig. 2- 2	Relation between engine torque and fuel consumption
Fig. 2- 0	Body plan and bow and stern profile of single screw container
	ship
Fig. 3- 2	Comparison of ship motions in regular head waves between
٩	experiments and calculations
Fig. 3- 2	Comparison of relative stern motions in regular head waves
	between experiments and calculations
Fig. 3-	B Phase lags of ship motions, propeller thrust fluctuation and
	axial inflow velocity into propeller disc
Fig. 3-	Comparison of ship motions in regular following waves between
	experiments and calculations
Fig. 3-	5 Effects of fluctuations of resistance and propeller thrust on
	surge amplitude in regular following waves
Fig. 3-	6 Comparison of ship motions in irregular head waves between
	experiments and calculations (effect of significant wave
	height)
Fig. 3-	7 Comparison of ship motions in irregular head waves between
	experiments and calculations (effect of mean wave period)
Fig. 3-	8 Effect of wave height on ship motions in regular head waves
Fig. 3-	9 Comparison of resistance increase in regular head waves between
	experiments and calculations (normal condition)
Fig. 3-1	0 Comparison of resistance increase in regular head waves between
	experiments and calculations (light condition)
Fig. 3-1	1 Mean increases of propeller thrust, torque and revolution in
	regular head waves
Fig. 3-1	2 Mean increases of propeller thrust, torque and revolution in
	regular following waves
Fig. 3-1	3 Comparison of mean increases of resistance, propeller thrust,
	torque and revolution in irregular head waves between experiments
· .	and predictions (effect of significant wave height)

-

- Fig. 3-14 Comparison of mean increases of resistance, propeller thrust, torque and revolution in irregular head waves between experiments and predictions (effect of mean wave period)
- Fig. 3-15 Effect of wave height on resistance increase in regular head waves
- Fig. 3-16 Effect of wave height on mean increases of propeller thrust, torque and revolution in regular head waves
- Fig. 4-1 Propeller open-water characteristics at forced heave oscillation (mean values)
- Fig. 4- 2 Propeller open-water characteristics at forced pitch oscillation (mean values)
- Fig. 4- 3 Propeller open-water characteristics at forced surge oscillation (mean values)
- Fig. 4- 4 Propeller open-water characteristics in regular head waves (mean values)
- Fig. 4- 5 Self-propulsion factors in regular head waves
- Fig. 4- 6 Effect of wave height on self-propulsion factors in regular head waves
- Fig. 4-7 Self-propulsion factors in irregular head waves (effect of significant wave height)
- Fig. 4-8 Self-propulsion factors in irregular head waves (effect of mean wave period)
- Fig. 4- 9 Self-propulsion factors in regular head waves
- Fig. 4-10 Effect of wave height on self-propulsion factors in regular head waves
- Fig. 4-11 Circular ring type wake meter
- Fig. 4-12 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with container ship model
- Fig. 4-13 Distribution of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves and in still water with container ship model
- Fig. 4-14 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with restrained model of container ship model
- Fig. 4-15 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in forced pitch oscillation test to that in still water with container ship model
- Fig. 4-16 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in forced pitch oscillation test to that in still water with container ship model (effect of amplitude of pitch)

— 106 —

- Fig. 4-17 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with container ship model (effect of wave height)
- Fig. 4-18 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with tanker model
- Fig. 4-19 Relation between propeller thrust and $(1-w_e)$ in regular head waves with container ship and tanker models
- Fig. 4-20 Flows into blade element at radius of r
- Fig. 4-21 Propeller open-water characteristics calculated by blade element theory
- Fig. 4-22 Comparison of self-propulsion factors in regular head waves between experiments and calculations using propeller open-water characteristics by blade element theory with container ship model
- Fig. 4-23 Calculation of self-propulsion factors in regular head waves with tanker model
- Fig. 5-1 Calculated axial component of fluctuation of inflow velocity into propeller disc
- Fig. 5- 2 Calculated vertical component of fluctuation of inflow velocity into propeller disc
- Fig. 5- 3 Phase lag between wave and inflow velocity into propeller disc
- Fig. 5- 4 Ratio of wave height at the stern to that of incident wave with restrained model of container ship model in regular head waves
- Fig. 5- 5 Comparison of fluctuation of inflow velocity into propeller disc between experiments and calculations
- Fig. 5- 6 Calculated spectra of thrust fluctuation of one blade in irregular waves
- Fig. 5- 7 Ratio of thrust and torque fluctuations to mean thrust and torque at propeller open-water test with forced surge oscillation
- Fig. 5-8 Ratio of thrust and torque fluctuations to mean thrust and torque at propeller open-water test in regular head waves
- Fig. 5- 9 Revolution fluctuation at propeller open-water test in regular head waves
- Fig. 5-10 Spectra of waves, thrust and torque fluctuations at propeller open-water test in irregular head waves
- Fig. 5-11 Comparison of amplitudes of propeller load fluctuations in regular head waves between experiments and calculations

— 107 —

- Fig. 5-12 Fluctuations of propeller thrust, torque and revolutions in regular head waves (light condition)
- Fig. 5-13 Comparison of significant values of propeller load fluctuation in irregular head waves between experiments and calculations
- Fig. 5-14 Actual ship measurements at 2nd voyage of the HIKAWA MARU
- Fig. 5-15 Relation between propeller immersion and ratio of propeller load at shallow immersion to that at deep one
- Fig. 5-16 Relation between propeller thrust and immersion at open water tests in irregular waves
- Fig. 5-17 Time history of relation between propeller immersion and propeller thrust at behind tests in forced pitch oscillation
- Fig. 5-18 Propeller open water tests in regular waves
- Fig. 5-19 Relation between propeller immersion and ratio of propeller load at shallow immersion to that at deep one
- Fig. 5-20 Co-ordinate system and definition
- Fig. 5-21 Comparison of time histories of propeller thrust fluctuation at racing condition between experiments and calculations
- Fig. 5-22 Swell up of water level at propeller position
- Fig. 5-23 Variation of propeller immersion with wave length in regular head waves
- Fig. 5-24 Comparison of propeller load fluctuations in regular head waves between experiments and calculations (light condition)
- Fig. 5-25 Variance of fluctuations of propeller thrust and revolutions in irregular head waves
- Fig. 5-26 Estimated time history of propeller torque using Fig. 5-17
- Fig. 5-27 Effect of moment of inertia of prime mover on propeller revolutions
- Fig. 5-28 Characteristic curves of main engine for container ships of 175m length obtained by trial results
- Fig. 5-29 Characteristic curve of prime mover
- Fig. 5-30 Relations betweewn propeller torque and revolutions at racing condition
- Fig. 5-31 Non-linear, non-memory transformed system
- Fig. 5-32 Auto-correlation function of the non-linear, non-memory system
- Fig. 5-33 Comparison of spectral analysis of digital simulation and calculation as to non-memory, non-linear transformed time histories

--- 108 ----

- Fig. 5-34 Comparison of spectra of hydrodynamic pressure near waterline in waves between experiment and calculation
- Fig. 6-1 Comparison of speed drop and mean increases of propeller thrust, torque, revolutions and power in regular head waves between experiments and calculations (normal condition)
- Fig. 6- 2 Calculated speed drop and mean increases of propeller thrust, torque, revolutions in regular head waves for arbitrary characteristics of main engine (normal condition)
- Fig. 6- 3 Comparison of speed drop and mean increases of propeller thrust, torque and revolutions in irregular head waves between experiments and calculations (normal condition)
- Fig. 6- 4 Comparison of speed drop in regular head waves between experiments and calculations (light condition)
- Fig. 6- 5 Comparison of mean increases of propeller thrust, torque and revolutions between experiments and calculations (light condition)
- Fig. 6- 6 Comparison of speed drop in irregular head waves between experiments and calculations (light condition)
- Fig. 6-7 Effect of propeller immersion on propeller performance
- Fig. 6-8 Comparison of measured and computed deliberate speed loss in regular head waves
- Fig. 6-9 Comparison of measured and computed mean increases of propeller thrust and revolutions
- Fig. 6-10 Comparison of measured and computed critical acceleration in regular head waves
- Fig. 7-1 Calculation of speed drop in irregular oblique waves
- Fig. 7-2 Calculation of optimum ship operation in waves
- Fig. 7- 3 Relation between heading angle and fuel consumption at critical speed
- Fig. 7-4 Relation between ship speed and fuel consumption
- Fig. 7- 5 Effect of self-propulsion factors on ship speed, revolutions and apparent slip ratio in irregular head waves
- Fig. 7- 6 Operation point on engine characteristic plane concerning nominal speed loss
- Fig. 7-7 Critical ship speed in irregular oblique waves
- Fig. 7-8 Factors of evaluation for optimum ship route

--- 109 ----

Table

		Load cond	lition
Snip model		Normal	Light
Length between perpendiculars	L _{pp} (m)	4.000	<u> </u>
Breadth	B (m)	0.5847	
Draft fore	df (m)	0.1952	0.1079
aft	d _a (m)	0.2199	0.1698
mean	d _m (m)	0.2076	0.1389
Trim	t (m)	0.0247	0.0519
Displacement volume	7 (m ³)	0.2769	0.1709
Block coefficient	СЪ	0.568	0.526
Longi.center of buoyancy from F.P.	FB	0.520L	0.530L
Longi.radius of gyration	Kyy	0.240L	0.255L
Height of C.G. above base line	KG (m)	0.1778	0.190
Length-breadth ratio	L/B	6.81	
Breadth-draft ratio	B/d	2.816	4.210
Propeller models	<u> </u>	A	В
Diameter	D (m)	0.150	0.112
Pitch ratio	P/D	1.007	1.009
Expanded blade area ratio		0.6935	0.6700
Blade thickness ratio		0.0530	0.050
Boss ratio		0.1848	0.180
Number of blades		5	5
Direction of turning		Right	Right

Table 2-1 Principal particulars of container ship model and propellers

1) Effec	et of λ and	V	Fn	ζ _w	λ/L	Measuring items	Condition
	Resistance	Motion free	0.15 0.20 0.25 0.30	L/50 (8 cm)	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 2, 0.	Pitch,Heave,Surge, Relative stern motion, Resistance,Wave	Normal & Light
Head	tests	Restrained model	0.50		2.5	Resistance,Wave	Normal
waves	Self-propuls Proprller	sion test A,B	0.15 0.20 0.25 0.30	L/50 (8 cm)	0.5,0.6,0.7,0.8, 0.9,1.0,1.1,1.2, 1.3,1.5,1.7,2.0, 2.5	Pitch,Heave,Surge, Relative stern motion, Thrust,Torque,Revolu- tion,Wave	Normal
Following waves	Self-propuls Propeller	sion test A	0.20 0.25	L/50 (8 cm)	0.4,0.5,0.6,0.7, 0.8,0.9,1.1,1.3, 1.5,2.0,2.5	Pitch,Heave,Surge, Thrust,Torque,Revolu- tion,Wave	Normal

Table 3-1 Test conditions of resistance and self-propulsion tests in regular waves

2) Effec	t of Sw		Fn	Ś₩	አ/ L	Measuring items	Condition
	Resistance tests	Motion free Restrained model	0.20 0.25	4 cm ~ 20 cm	0.9 1.5	Pitch,Heave,Surge, Resistance,Wave Resistance,Wave	Normal
Head waves	Self-propuls Propeller	sion test A	0.20 0.25	4 cm ~ 20 cm	0.9	Pitch,Heave,Surge, Thrust,Torque, Revolution,Wave	
	Self-propuls Propeller	sion test A,B	0.20	4 cm \sim 15 cm	1.0	Pitch,Heave,Surge, Thrust,Torque, Revolution,Wave	

Irregular waves				
<u> </u>	H _{1/3} (cm)	Ĩ _o (sec)	Fn	Meąsuring items
	10.78	1.159		Resistance test:
Mean wave period series	9.99 10.56 10.04	1.413 1.562 1.694	0.15	Resistance,Pitch,Heave Surge,Wave,Speed
an a	6.36	1.409	0.25	Self-propulsion test:
Significant wave height series	9.99 11.54 13.40 16.12	1.413 1.390 1.395 1.399	0.30	Thrust,Torque,Revolution, Pitch,Heave,Surge,Wave, Speed

.

Table 3- 2 Test conditions of resistance and self-propulsion tests in irregular waves

Kind of test	Freq.(Hz)	J	V(m/s)	N(1/s)	Measuring items
Forced heave oscilla- tion Double amp.; 8 cm	0.51 0.57 0.66 0.88	0.4) 0.8	0.6 } 1.2	10.0 const.	Thrust,Torque, Revolution,Speed, Heave
Forced pitch oscilla- tion Double amp.; 3 deg.	0.51 0.57 0.66 0.88	0.4 2 0.8	0.6 2 1.2	10.0 const.	Thrust,Torque, Revolution,Speed, Pitch
	0.51 0.57 0.66 0.88	0.4 2 0.8	1.55 1.40 1.20 0.90	7.5 20.0	Thrust
Forced surge oscilla-	0.88	0.4 const.	0.60	10.0 2 18.0	Revolution Speed
Double amp.;8 cm	0.88	0.6 const.	0.72 2 1.44	8.0 2 16.0	Surge
	0.88	0.4	0.6 2 1.2	10.0 const.	
In regular head waves Wave height; 8 cm	0.51 0.57 0.66 0.88	0.4 2 0.8	0.6 2 1.2	10.0 const.	Thrust,Torque, Revolution,Speed, Wave
Forced heave oscilla- tion in regular head waves: Double amp. of heave; 8 cm Wave height; 8 cm	0.88	0.4 2 0.8	0.9	15.0 2 7.5	Thrust,Torque, Revolution,Speed, Heave,Wave
In irregular head waves Hy ₃ ;10.91 cm T̃ ₀ ;0.954 sec		0.7	0.525	5.0	Thrust,Torque, Revolution,Speed Wave

Table 4-1 Test conditions of propeller open-water tests

Kind of tests	Mode1	Fn	λ/L	Swicm)	Ring No.
	Container ship	0.20	0.5 0.8	8	4,5,6,7,8,9,10
Motion free	Tanker	0.224	1.1 1.5 2.0	5	5,6,7,8,9,10
notion free			2.5		
	Container	0.20	0.9	4	7
	snip		1.5	20	/
Restrained	Container	0.20	0.5,1.5	8	7
model	ship		1.1 2.5		
			Hz	Doble am	p
			0.52 0.60	· · ·	
			0.72	_ 3°	4,6,7,8,10
Forced pitch	Container	0.20	1.09		
oscillation	snip	0.20	0.50	1°	(10
			0.52	2° 3°	6,10
		<u> </u>		4°	
Ring No.	4	5	6	7	8 9 10
Container shi	pr/Rp 0.89	7 0.7	89 0.681	0.576	0.467 0.362 0.254
Tanker	r/R _p	- 0.9	78 0.844	0.714	0.579 0.449 0.315

٠

Table 4- 2 Test conditions of wake measurements in propeller disc

<i>.</i>				
Ship	;Length between perpendiculars	Lpp	(m)	3.439
-	Breadth	B	(m)	0.580
•	Draft	d	(m)	0.258
	Displacement volume	Δ	(m ³)	0.388
	Block coefficient	с _ь		0.755
	Length-breadth ratio			5.934
	Breadth-draft ratio			2.248
Propelle	er;Diameter	D	(m)	0.121
• •	Pitch ratio	P/D		0.8595
	Expanded blade area ratio			0.670
	Blade thickness ratio			0.050
	Boss ratio			0.180
	Number of blades			5

Table 4- 3 Principal particulars of tanker model and propeller

	V (m/s)	λ/L	۲. ۲.	Measuring items	Condition	Note
In still water	0.6 1.9			Static swell up at propeller position	Light load	Without propeller
In regular head waves	1.253 (F _n =0.20)	0.5 2 2.5	8 cm	Relative motion at propeller position		

Table 5-1 Measuring conditions of static swell up in still water and relative motion in waves at propeller position

Table 6-1 Test conditions of speed drop tests in regular and irregular head waves

				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	and the second	
	F n	入/L	Sw .	Measuring items	Condition	Note
In regular head waves	0.25	0.5 2 2.5	8 cm	Thrust,Torque, Revolution,Pitch, Heave,Surge,Wave, Speed	Light load and	Revolution constant mode and
In irregular head waves	0.25	T _o 1.2 sec	H 1/3 4 cm 17 cm	Thrust,Torque, Revolution,Pitch, Heave,Surge,Wave, Speed	Normal load	Engine torque constant mode

Factor	Limit	Max.Probability
Vertical Acceleration at F.P.	0.8 g	0.001
Deck Wetness at F.P.		0.02
Slamming		0.01
Propeller Racing	propeller tip exposure	0.1

Table 7-1 Factors of Seaworthiness

Fig.











Fig. 2- 2 Vector representation of propulsive performance of ship in waves



Fig. 2- 3 Propeller open-water characteristics (propeller A)



Fig. 2- 4 Trial results of 175 m length container ship



Fig. 2- 5 Relation between engine torque and fuel consumption







Fig. 3-1 Comparison of ship motions in regular head waves between experiments and calculations



Fig. 3- 2 Comparison of relative stern motions in regular head waves between experiments and calculations



Fig. 3- 3

Phase lags of ship motions, propeller thrust fluctuation and axial inflow velocity into propeller disc







Fig. 3- 5 Effects of fluctuations of resistance and propeller thrust on surge amplitude in regular following waves



Fig. 3- 6 Comparison of ship motions in irregular head waves between experiments and calculations (effect of significant wave height)



Fig. 3-7 Comparison of ship motions in irregular head waves between experiments and calculations (effect of mean wave period)



Fig. 3- 8 Effect of wave height on ship motions in regular head waves



Fig. 3- 9 Comparison of resistance increases in regular head waves between experiments and calculations (normal condition)



Fig. 3-10 Comparison of resistance increases in regular head waves between experiments and calculations (light condition)



Fig. 3-11 Mean increases of propeller thrust,torque and revolution in regular head waves



Fig. 3-12 Mean increases of propeller thrust, torque and revolution in regular following waves



Fig. 3-13 Comparison of mean increases of resistance, propeller thrust, torque and revolution in irregular head waves between experiments and predictions (effect of significant wave height)


Fig. 3-14 Comparison of mean increases of resistance, propeller thrust, torque and revolution in irregular head waves between experiments and predictions (effect of mean wave period)



Fig. 3-15 Effect of wave height on resistance increase in regular head waves



Fig. 3-16 Effect of wave height on mean increases of propeller thrust, torque and revolution in regular head waves



Fig. 4-1 Propeller open-water characteristics at forced heave oscillation (mean values)



Fig. 4- 2 Propeller open-water characteristics at forced pitch oscillation (mean values)



Fig. 4- 3 Propeller open-water characteristics at forced surge oscillation (mean values)







Fig. 4- 5 Self-propulsion factors in regular head waves



Fig. 4- 6 Effect of wave height on self-propulsion factors in regular head waves



Fig. 4-7 Self-propulsion factors in irregular head waves (effect of significant wave height)



Fig. 4- 8 Self-propulsion factors in irregular head waves (effect of mean wave period)



Fig. 4-9 Self-propulsion factors in regular head waves



Fig. 4-10 Effect of wave height on self-propulsion factors in regular head waves



Fig. 4-11 Circular ring type wake meter



Fig. 4-12 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with container ship model



Fig. 4-13 Distribution of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves and in still water with container ship model



Fig. 4-14 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with restrained model of container ship model



Fig. 4-15 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in forced pitch oscillation test to that in still water with container ship model



Fig. 4-16 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in forced pitch oscillation test to that in still water with container ship model (effect of amplitude of pitch)



Fig. 4-17 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with container ship model (effect of wave height)



Fig. 4-18 Ratio of $(1-w_n)$ at propeller disc in regular head waves to that in still water with tanker model

.



Fig. 4-19 Relation between propeller thrust and (1-w_e) in regular head waves with container ship and tanker models







Propeller open-water characteristics calculated by blade element theory



Fig. 4-22 Comparison of self-propulsion factors in regular head waves between experiments and calculations using propeller open-water characteristics by blade element theory with container ship model



Fig. 4-23 Calculation of self-propulsion factors in regular head waves with tanker model



Fig. 5-1 Calculated axial component of fluctuation of inflow velocity into propeller disc



Fig. 5- 2 Calculated vertical component of fluctuation of inflow velocity into propeller disc



Fig. 5- 3 Phase lag between wave and inflow velocity into propeller disc



Fig. 5- 4 Ratio of wave height at the stern to that of incident wave with restrained model of container ship model in regular head waves



Fig. 5- 5 Comparison of fluctuation of inflow velocity into propeller disc between experiments and calculations



Fig. 5- 6 Calculated spectra of thrust fluctuation of one blade in irregular waves



Fig. 5- 7 Ratio of thrust and torque fluctuations to mean thrust and torque at propeller open-water tests with forced surge oscillation

.



Fig. 5-8 Ratio of thrust and torque fluctuations to mean thrust and torque at propeller open-water tests in regular head waves



Fig. 5- 9 Revolution fluctuation at propeller open-water test in regular head waves

· .



Fig. 5-10 Spectra of waves, thrust and torque fluctuations at propeller open-water test in irregular head waves



Fig. 5-11 Comparison of amplitudes of propeller load fluctuations in regular head waves between experiments and calculations


Fig. 5-12 Fluctuations of propeller thrust, torque and revolutions in regular head waves (light condition)



Fig. 5-13 Comparison of significant values of propeller load fluctuation in irregular head waves between experiments and calculations



Fig. 5-14 Actual ship measurements at 2nd voyage of the HIKAWA MARU



Fig. 5-15 Relation between propeller immersion and ratio of propeller load at shallow immersion to that at deep one



Fig. 5-16 Relation between propeller thrust and immersion at open-water tests in irregular waves



Fig. 5-17 Time history of relation between propeller immersion and propeller thrust at behind tests in forced pitch oscillation







Fig. 5-19 Relation between propeller immersion and ratio of propeller load at shallow immersion to that at deep one



Fig. 5-20 Co-ordinate system and definition



Fig. 5-21 Comparison of time histories of propeller thrust fluctuation at racing condition between experiments and calculations



Fig. 5-22 Swell up of water level at propeller posotion (light condition)

.



Fig. 5-23 Variation of propeller immersion with wave length in regular head waves (light condition)



Fig. 5-24 Comparison of propeller load fluctuations in regular head waves between experiments and calculations (light condition)



Fig. 5-25 Variance of fluctuations of propeller thrust and revolutions in irregular head waves



Fig. 5-26 Estimated time history of propeller torque using Fig. 5-17





•



Fig. 5-28 Characteristic curves of main engine for container ships of 175m length obtained by trial results







Fig. 5-30 Relation between propeller torque and revolutions at racing condition



Fig. 5-31 Non-linear, non-memory transformed system



Fig. 5-32 Auto-correlation function of the non-linear, non-memory system



Fig.5-33(1)Comparison of spectral analysis of digital simulation and calculation as to non-linear, non-memory transformed time histories



Fig.5-33(2)Comparison of spectral analysis of digital simulation and calculation as to non-memory, non-linear transformed time histories

· · ·



Fig. 5-34 Comparison of spectra of hydrodynamic pressure near waterline in waves between experiment and calculation



Fig. 6-1 Comparison of speed drop and mean increases of propeller thrust, torque, revolutions and power in regular head waves between experiments and calculations (normal condition)



Fig. 6- 2 Calculated speed drop and mean increases of propeller thrust,torque,revolutions in regular head waves for arbitrary characteristic of main engine (normal condition)



Fig. 6-3 Comparison of speed drop and mean increases of propeller thrust, torque and revolutions in irregular head waves between experiments and calculations (normal condition)



Fig. 6-4 Comparison of speed drop in regular head waves between experiments and calculations (light condition)



Fig. 6- 5 Comparison of mean increases of propeller thrust, torque and revolutions between experiments and calculations (light condition)



Fig. 6- 6 Comparison of speed drop in irregular head waves between experiments and calculations (light condition)



Fig. 6- 7 Effect of propeller immersion on propeller performance



Fig. 6- 8 Comparison of measured and computed deliberate speed loss in regular head waves



Fig. 6- 9 Comparison of measured and computed mean increases of propeller thrust and revolutions



Fig. 6-10 Comparison of measured and computed critical acceleration in regular head waves



Fig. 7-1 Calculation of speed drop in irregular oblique waves



Fig. 7- 2 Calculation of optimum ship operation in waves



Fig. 7-3 Relation between heading angle and fuel consumption at critical speed



Fig. 7-4 Relation between ship speed and fuel consumption

·


Fig. 7- 5 Effect of self-propulsion factors on ship speed, revolutions and apparent slip ratio in irregular head waves

.



Fig. 7- 6 Operation point on engine characteristic plane concerning nominal speed loss



Fig. 7-7 Critical ship speed in irregular oblique waves



Fig. 7-8 Factors of evaluation for optimum ship route

