

# $C_B=0.65$ の広幅浅喫水船の推進性能に関する水槽試験

山口 真裕\* 角川 明\* 柳原 健\*

## Experimental Study on the Propulsive Performance of Shallow Draught Ships ( $C_B=0.65$ )

By

Masahiro YAMAGUCHI, Akira KAKUGAWA and Tsuyoshi YANAGIHARA

### Abstract

The effect of change in the ratio  $L/B$  upon resistance and propulsion has been investigated by a three-model series. The three models have the same block coefficient  $C_B$  (0.65), the same ratio  $B/d$  (3.4), the same midship section coefficient  $C_M$  (0.970), and the similar sectional area curve and frame line of aft body. The three models differ in the ratio  $L/B$  (6.0, 5.25 and 4.5) and in the sectional area curve and load waterline of fore body. Each of models has the sectional area curve of fore body which is obtained as the optimum wave making resistance coefficient by the regression analysis method. The regression analysis method used here is modified from Tagano's method.

The results of resistance and propulsion tests and wave measurement with these models are presented. These tests with the exception of the wave measurement were conducted at the design displacement and ballast condition (65% of the design displacement). The wave measurements were conducted at the design displacement only. The wake survey was conducted at the design displacement of the model which has the widest beam ( $L/B=4.5$ ).

From the results of tests, these three models have less wave making resistance coefficients at the design speed of the design displacement than expected by the regression analysis method. These models, however, have larger form factors.

Therefore, the model of the widest beam was modified at the stern and resistance and propulsion tests and wake survey test were conducted at the same two conditions. This results shows some improvement in form factor.

### 目 次

1. まえがき
2. 供試模型船

- 2.1 統計解析の方法
- 2.2 横截面積曲線の決定
- 2.3 線図の決定

3. 水槽試験状態
4. 水槽試験および試験結果
  - 4.1 抵抗試験
  - 4.2 自航試験
  - 4.3 伴流計測試験

### 5. 考 察

- 5.1 造波抵抗と剰余抵抗

---

\* 推進性能部 原稿受付：昭和57年2月25日

- 5.2 形状影響係数
- 5.3 船尾改良船の船型計画と水槽試験結果
- 5.4 自航要素
- 5.5 主機の制動馬力および回転数

## 6. まとめ

### 1. ま え が き

昭和48年に起きた第1次石油危機以来、昭和55年のイラン・イラク戦争を経て、石油事情が悪化し、世界的に省エネルギーあるいは脱石油の方策が検討され、種々の方法が試みられている。我が国においても石油消費量の8割も占める鉱工業生産部門で省エネルギーおよび脱石油の方法が採用されるとともに、石油消費量の1割強の運送部門でも省エネルギーの方策が検討されている。その石油消費量が運送部門の中で1割弱でありながら、国内の貨物輸送量(トン・キロメートル)の5割以上も荷なう内航海運においても、燃料用の石油の高騰のために省エネルギーの方策が重要視され検討されている。その方策の中には、①減速する②船型を寄せさせる③船の長さを長くする④プロペラ直径を従来のものより大きくし、かつ、プロペラをより低い回転で廻して、より高いプロペラ効率を得ようとするなどの方法がある。

しかし、省エネルギーの観点から性能の良い船型であっても、主要目等の幾何学的条件抜きでは、運航される航路によっては必ずしも最適な船型とは言えない。運航される航路によって船の長さ、幅、喫水が制限されたり、積荷の種類あるいは量によって船型が変化し、荷役時間と航海時間等によって船速の調整が必要となり、船速が変わればそれに応じて横断面積曲線などの最適な船型も変わると考えられる。このような点から、まず、船型の主要目等の幾何学的条件を考えて、その幾何学的条件を満たし、かつ、推進性能の良い横断面積曲線等を有する船型を求める方法を確立することが大切である。従来の方法として設計チャートを利用して推進性能を推定したり、建造実績のある資料等から母船型を選び出し、主要目等の相違による影響を推定して推進性能を修正する手法によって、性能の良い船型を求めようとしてきたが、主要目とともに重要な横断面積曲線については水槽試験の方法によって確かめるしか手段がなかった。最近では、造波抵抗理論を応用して、最適な横断面積曲線や肋骨線形状等を求められるようになったが、しかし抵抗等の推定精度は必ずしも十分ではない。理論の不十分なところ

を補う方法として、船型の水槽試験資料を収集して、抵抗・推進性能の値を理論的根拠に基づく式で表わし、その係数を最小二乗法で求める、いわゆる重回帰方程式による統計解析の方法が提案されている<sup>11)</sup>。

最近の船舶建造の新しい船型の傾向は、荷物がコンテナ化されて容積は多くとるが重量は少ない製品の輸送が目立ち、甲板面積を大きくして、幅を広く、かつ、喫水が浅くなっている、いわゆる広幅浅喫水船の建造要望が多いが、しかし、その設計に応える設計チャートもまた水槽試験資料も極めて不十分であり、よって、広幅浅喫水船に対する性能の推定精度は必ずしも十分ではなく、また、設計された船型が性能の良いものとも限らない。このような事情から、広幅浅喫水船の水槽試験を実施して、それらの資料の蓄積が望まれている。資料の蓄積とともに、広幅浅喫水船の最適船型の開発あるいは最適船型を求める方法の確立も要望されている。

ここでは、方形係数  $C_B=0.65$ 、幅喫水比  $B/d=3.4$  の浅喫水船を、長さ幅比  $L/B$  を 6.0 から 5.25、4.5 と変えた船型について、統計解析の方法を利用して抵抗の小さい横断面積曲線の船型を求め、それらの模型船による水槽試験を実施したので、それらの結果について報告する。ここに利用した統計解析の方法は、肋骨線がU形状でかつ、 $L/B$  が大きいという仮定の下での造波抵抗理論を基盤とした回帰モデルであり、多数の水槽試験資料を使って最小二乗法で回帰係数が求められるが、ここに採用した回帰モデルは船型の主要目等による項と横断面積曲線による項から構成されている。よって、系統的船型試験を行う際に従来の船型の設計チャートを利用した場合あるいは「 $1-C_p$ 法」を利用した場合と異なり、横断面積曲線を変化させたときの抵抗変化をより正確に推定でき、船型設計に大いに利用できる方法だと考えられる。なお、この模型船シリーズは、日本造船技術センターと日本造船研究協会の第171研究部会で実施された  $C_B=0.55$  および 0.60 の 6 隻と合わせて、合計 9 隻のシリーズを構成している<sup>12~16)</sup>。

## 2. 供 試 模 型 船

### 2.1 統計解析の方法

船舶設計の基本計画ではその船舶の使用する岸壁あるいは航行する海峡や運河等によってその主要目が限定され、機関配置や積載重量・容量あるいは波浪中の運航・耐航性能を配慮しつつ、その主要目と船速との

関連において最適の横断面積曲線や肋骨線形状を選定するが、水槽試験等の資料の数が少ない船型に対しては、理論によって種々に検討し、その検討結果を水槽試験によって確認することによって、比較的短期間に最適の船型が求められることができる。しかし、従来の理論の利用では、抵抗などの推定値の精度が十分でないため必ずしも十分には活用されていない。それに対して理論と実験の両者を活かした統計解析の方法による船型の設計法が提案されており、これによって良い精度が期待されている。ただこの統計解の方法を利用するためには多くの資料が必要であり、それが重要な要素である。今回の系統的模型試験を実施するに当たり、船舶技術研究所および日本造船技術センターの水槽試験資料を数多く収集し、その資料を使用して統計解析の方法によって、それぞれの主要目に対して最適の船型を求めることとした。

なお、従来の系統的模型試験法においては、今までに実施された水槽試験の資料の中から、ある幾何学的条件を満たしたかつ最適である船型を母船型として求め、その母船型を「 $1-C_p$ 法」などによって幾何学的に変化させていた。この方法では幾何学的船型変化以外の他の要素を変えていないので、船型の幾何学的条件のみによる推進性能への影響を明らかにすることができる。しかし、母船型の主要目と異なる模型船がその主要目に対して最適の船型となっていることすなわち横断面積曲線や肋骨線形状が最適となっていることの保証はなく、大方は母船型と比較して劣る性能を示すことになった。

本研究の系統的模型試験法では、従来の系統的模型試験法とは異なり、 $C_B$ の値によって設計速度を変化させて、その設計速度に応じた最適の船型を統計解析の方法によって求めることとした。本報告では、 $C_B=0.65$ で設定速度はフルード数  $F_n(=V/\sqrt{gL_{WL}})$  で0.24、想定実船の長さ  $L_{pp}=150\text{m}$ として、18.2ノットの速度である。この設定速度は  $L/B=5.25$ の船型を考慮した結果であり、想定された塔載主機関(MCR 15,000馬力)では  $L/B=4.5$ の船型にはこの設定速度は過大であるが、 $L/B$ の値によって設定速度を変えることはしなかった。(なお、日本造船研究協会と日本造船技術センターで実施された模型船シリーズのうち  $C_B=0.60$ の設定速度は  $F_n=0.26$ 、 $C_B=0.55$ の設定速度は  $F_n=0.28$ とした。)

ここで重要な問題は、理論的な方法で最適として求められた船型が水槽試験において最適であるかどうか

である。この問題を解決するには、理論的な方法で推定した値と実験値とを比較し、もし両者に差があるならば、その差の原因を追求し、理論的な方法を修正し改良していかねばならない。本研究では、造波抵抗を主眼に置いた統計解析の方法を採用したので、まず、造波抵抗について検討し、それから粘性抵抗あるいは自航要素を吟味しなければならない。造波抵抗において重要な要素が統計解析の方法で欠落しているならばそれを補正して、回帰モデルを可能な限り実際の現象に適合するように改良・発展する必要がある。

ここでは、多賀野によって提案された統計解析の方法(1)に従って作業を進めることとした。

水槽試験資料は船舶技術研究所と日本造船技術センターにおいて実施されたものから収集した。これらの資料はある一造船所の水槽の資料とは異なり、多数の造船所等による委託試験のものであり、船型にしても肋骨線形状等も一様ではなく、種々雑多である。そこで、船速の遅い油槽船と  $C_B=0.8$ を越える船型を除いて、可能な限り多くを収集することにした。そのため、後述のように資料収集が完了していない段階(資料総数300隻)で研究対象船の模型船を製作することになり、船型を決定することとなった。最終的には、資料総数800余隻となった。(水槽試験資料は  $F_n$ で0.20から0.29まで0.01毎に造波抵抗係数あるいは剰余抵抗係数を読み取ったが、資料によっては、この速度範囲全体に渡って試験を実施していないものもあり、資料総数と各フルード数毎の資料数とは異なる。 $F_n=0.24$ の資料数は最終的には536隻である。)なお、収集した資料の項目は、模型船の主要目・方形係数などの係数・浸水表面積・水温およびA. P. からF. P. にかけての24点における横断面積曲線と水線面形状曲線の値と  $F_n$ の0.20から0.01毎の造波抵抗係数あるいは剰余抵抗係数と形状影響係数である。多賀野の資料収集では、S. S.  $3\frac{1}{2}$ と  $6\frac{1}{2}$ の2か所でも横断面積曲線等が読みとられていて後に示す統計解析の方法の説明変数の要素として採用されているが、今回の収集作業においては、必ずしもS. S.  $3\frac{1}{2}$ と  $6\frac{1}{2}$ での値が明示されていない資料が多く、図面からの読み取りも誤差があるので、これら2点における読み取りは省いた。

(この2か所における横断面積曲線の値の代りにはじめは、S. S. No. 3と7の値を、後の段階では内挿法によって求めたS. S.  $3\frac{1}{2}$ と  $7\frac{1}{2}$ の値を使用することとした。この点については今後検討する必要がある。) 収集した資料の中には、船首・船尾形状が特異のも

のであったり、あるいは特異な形状をした船体幅部があったりするものもあるので、重回帰方程式を求める作業をする前に取り除いた。

重回帰方程式としては、英国のトロール漁船のシリーズテストに対する Doust の式<sup>1)</sup>、B. S. R. A. シリーズおよびシリーズ60の Shaher Sabit の式<sup>2~5)</sup>および漁船に対する土屋の式<sup>6)</sup>等<sup>7)</sup>があるが、これらの式は船体の主要寸法等によって表示する方法である。これに対して、Holtrop らは Havelock の造波抵抗理論を応用した式を導いている<sup>8~10)</sup>。また、多賀野は薄い船の場合の Michell の近似を活用して、横断面積曲線の形状変化をも考慮することも可能とする式を導びいた<sup>11)</sup>。これは次に示されるように船型の主要目等で表わされる部分と横断面積曲線で表示できる部分とに分けて、両者を相乗することによって造波抵抗係数が与えられる式であり、本系統的模型船シリーズを検討する方法として適しているのを、これを活用することとした。

$$r_w = \frac{R_w}{\rho V^2 \bar{V}^{2/3}} = h \times (H_{00} f_0 f_0 + H_{01} f_0 f_1 + \dots + H_{ij} f_i f_j + \dots + H_{nn} f_n f_n) \quad \dots(1)$$

ここに

$$h = \frac{C_M^2}{\pi} \left( \frac{1}{C_B} \frac{B}{L} \frac{B}{d} \right)^{2/3} \times (1 - e^{-K_0 L \frac{B}{L} \frac{d}{B}})^2 \quad \dots(2)$$

$$K_0 L = 1/F_n^2, \quad f_i = A(x_i)/A_M$$

Michell の近似式を基本においてるので、造波抵抗は船の幅に比例するとしており、また、肋骨線形状はU型を仮定しており、これらの条件が式(2)に表現されている。横断面積曲線の6ないしは7か所の値  $f_i$  からなる  $f_i f_j$  の項を説明変数として、 $H_{ij}$  を回帰係数として求めるものである。多賀野の  $f_i$  の値は、 $0.55 \leq C_B \leq 0.65$  の範囲で S. S. No. 1, 3<sup>1/2</sup>, 6<sup>1/2</sup>, 8, 9, 9<sup>1/2</sup> および F. P. の7点の位置で、また、 $0.65 \leq C_B \leq 0.75$  の範囲では、S. S. No. 1, 3, 7<sup>1/2</sup>, 9<sup>3/4</sup> と F. P. の6点の位置で、解析に利用している。

式(1)から、 $f_i f_j$  で表わされる項だけを考えて、次式となる<sup>17, 18)</sup>。

$$C_w' = H_{00} f_0 f_0 + H_{01} f_0 f_1 + \dots + H_{ij} f_i f_j + \dots + H_{nn} f_n f_n \quad \dots(3)$$

$$= \frac{r_w}{h}$$

(218)

$$= \frac{\pi R_w}{\rho V^2 B^2 (1 - e^{-K_0 d})^2 C_M^2} \quad \dots(4)$$

これは造波抵抗を船の幅と中央横断面積係数等によって無次元化したものであり、「幅等による造波抵抗係数」と称することにする。

$r_w$  を重回帰方程式の目的変数とする場合は、「幅等による造波抵抗係数」 $C_w'$  を目的変数とする場合と比較すると、函数  $h$  の量だけ重率とみなして乗じたものとなり、重み付重回帰方程式で解析することとなる。重み付回帰方程式を利用すれば検討の対象となっている船型に近い資料に大きな重みを乗じることによって、推定精度をより良くすることができる。本研究の目的の船型に近く、かつ、性能の良い資料が容易に多数集められればこの重み付回帰方程式を利用するのが良いが、しかし、広幅の資料は数少なく、しかも抵抗の小さいという保証も十分でない。また、広幅浅喫水船の場合、それらの主要目から得られる  $h$  の値は幅の狭い船型よりも大きく、従って、広幅になるにつれて、 $h$  が大きくなり、 $r_w$  を目的変数と考えた場合、広幅の船型の資料が重視されることになる。これは、幅は狭いが、性能の良い船型の資料を軽んずることになる恐れがある。統計解析の方法として、原則的には検討しているその船型の主要寸法および横断面積曲線に近い資料に重みを付けて、推定精度を高めることが肝要であり、また、抵抗の小さい、性能の良い船型を求めていくことも重要なことである。しかし、本作業においては、最終的に収集した資料でも不十分であり、まして、船型を決めることとなった資料収集の中途の段階においても、資料数が不十分であったので、そこで、全ての資料を同じ重みで考慮することができる「幅による造波抵抗係数」 $C_w'$  を目的変数とする方法を採用した。この方法に採用したことにより、主要目等の幾何学的条件が表面的には除去されたが、後に述べるように  $L/B$  の値によって、バルブの大きさを変化することとした。

なお、求められた重回帰方程式の式(3)より、Hogner の影響線<sup>19)</sup>に相当する値を求めることができ、それを参考にして造波抵抗を小さくするように横断面積曲線を改良していくことにした。すなわち、横断面積の  $f_i$  が  $\delta f_i$  だけ変化したとき、 $C_w'$  が  $C_{w0}'$  から  $\delta C_{w0}'$  だけ変化したとすると、

$$C_w' = C_{w0}' + \delta C_{w0}' = C_{w0}' + \frac{\partial C_{w0}'}{\partial f_i} \cdot \delta f_i \quad \dots(5)$$

ここに

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{w0}'}{\partial f_i} = & H_{0i}f_0 + H_{1i}f_1 + \dots + H_{i-1i}f_{i-1} \\ & + 2H_{ii}f_i + H_{i+1i}f_{i+1} + \dots \\ & + H_{ni}f_n \quad \dots\dots(6) \end{aligned}$$

式(6)の値の正負の大小を考慮し、式(5)の  $C_w'$  が小さくなるように、 $f_i$  を変更すれば良い。

以上のように、本研究では多賀野の重回帰方程式を式(3)に置き換えて解析することとした。

なお、解析に使用する横断面積曲線の値  $f_i$  をとる位置について、収集した資料によって吟味する必要があるが、資料の収集に手間どったため、多賀野の提案した位置する  $0.55 \leq C_B \leq 0.65$  の場合の S.S. No. 1, 3 $\frac{1}{2}$ , 6 $\frac{1}{2}$ , 8, 9, 9 $\frac{1}{2}$  および F.P. の7点とすることにし、資料収集できなかった S.S.No. 3 $\frac{1}{2}$  と 6 $\frac{1}{2}$  の位置における値は最初は S.S.No. 3 と 7 の値に置き換えて検討し、後に内挿法によって得られた値を採用した。

今後は、収集したこれらの資料を整理し、重回帰方程式の信頼区間あるいは予測値の信頼限界など、統計解析学上の検定を行っていく予定である。

## 2.2 横断面積曲線の決定

$C_B=0.65$ ,  $B/d=3.4$  で  $L/B$  の値を5.25を中心にして6.0および4.5と変化させた模型船シリーズ  $F$ ,  $G$  および  $H$  船の船型について、前節に示した統計解析の方法で横断面積曲線の形状を検討した。

$F$ ,  $G$  および  $H$  船の船型計画に当って、次に示す船型の幾何学的条件をまず考えた。

- (1)  $C_B=0.65$ ,  $B/d=3.4$  でかつ、 $L/B=4.5(H)$ ,  $5.25(F)$  および  $6.0(G)$  とする。
- (2)  $C_M=0.9704$  と決め、 $C_P=0.67$  とする。
- (3) 設定速力は  $F_n=0.24$  で、実船速度で18.2ノットとする。(実船の長さは150mとする。)
- (4) 排水量の前後配分比  $C_{BA}/C_{BF}=1.16$  とし、よって  $C_{BF}=0.602$ ,  $C_{BA}=0.698$  とする。収集した資料よりこの比  $C_{BA}/C_{BF}$  より、 $1.2 \leq C_{BA} \leq 2.2$  となる。
- (5) 肋骨線形状は日本造船技術センターで水槽試験が実施した船型 (M.S.No. R009)<sup>14)</sup> を母船型として考える。これはエントランス部の喫水での水線入角がやや小さくした船型である。

主要目寸法は条件(1)を満足させることとし、また、主要目寸法等による造波抵抗への影響は式(4)で表わされるとみなし、横断面積曲線の形状について、次のよ

うな作業を経て、決定することにした。

- (イ) 収集した水槽試験資料の中から、 $C_B$  がほぼ0.65であり、かつ、造波抵抗も形状影響係数も小さい船型を選び出す。これを基本船型とする。
- (ロ) 選び出した船型の資料を前述の船型の幾何学的条件の(2)と(4)を満足するように修正する。
- (ハ) 基本船型について、前節で述べた統計解析の方法によって、造波抵抗係数を推定するとともに、横断面積曲線の微小な変化量に対する造波抵抗係数の変化量を示す Hogner の影響線の結果を得る。
- (ニ) Hogner の影響線の結果を参考にして、設定速度 (今回は条件(3)の  $F_n=0.24$ ) で造波抵抗係数をより小さくなるように、横断面積曲線の形状を変化させる。
- (ホ) (ニ)によって得られた横断面積曲線を使って、(イ)と同様に、統計解析の方法によって、造波抵抗係数と Hogner の影響線の推定結果を得る。
- (ヘ) (ホ)の結果から、まだ横断面積曲線の形状を変化させる余地があるかどうかを検討し、さらに改良する場合には(ニ)の作業に戻り繰り返す。もう改良の余地がほとんどない場合は、ここでその横断面積曲線を統計解析の方法で得られた最適解とする。

統計解析の方法に使用する水槽試験資料は数が少ないと、それら限られた資料の範囲内のことしか推定できない。よって数が多い程よいが水槽試験の予定に間に合うように、資料の収集の中途の段階から、(イ)の作業を開始した。

まず、最初に  $L/B=5.25$  の  $F$  船型に絞って検討した。資料数が約200のときに、それら資料の中から、造波抵抗係数の小さい2隻の船型(水槽試験資料に番号を付け、2隻に対して「166」と「191」とした。)を基本船型に選び、(ロ)以降の作業によって、横断面積曲線を変化させた。Fig. 2-1 に資料番号「166」を基本船型とした場合の横断面積曲線を変えた結果について示す。(F船型で、横断面積曲線を変えた船型についてそれぞれ番号を付けて、「F4」等と示す。)資料番号「191」を基本船型としたときの結果を Fig. 2-2 に示す。図中には、資料番号「191」の船型の水槽試験の結果を、船型の主要目による函数  $h$  で修正して次式で得られる造波抵抗係数を「Estimation by Model Test」として示してある。

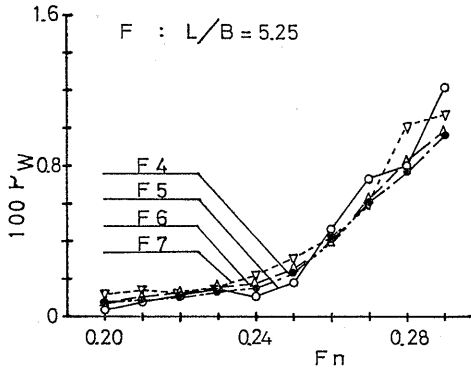


Fig. 2-1 Expected Wave Resistance Coefficients for Model 'F' ( $N \approx 200$ )

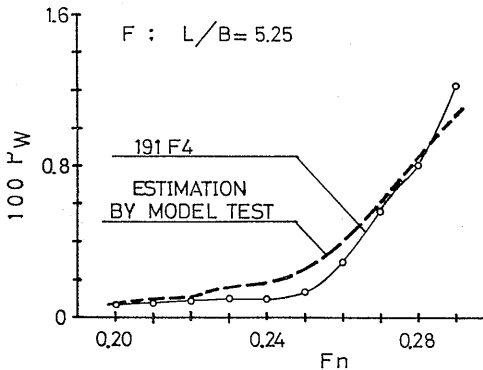


Fig. 2-2 Expected Wave Resistance Coefficients for Model 'F' ( $N \approx 200$ )

$$r_w = [r_w]_{191} \times \frac{[h]_F}{[h]_{191}} \quad \dots\dots(7)$$

ここに

$$h = \frac{C_M^2}{\pi} \left( \frac{1}{C_B} \frac{B}{L} \frac{d}{B} \right)^{2/3} \times (1 - e^{-K_0 L \frac{B}{L} \frac{d}{B}})^2 \quad \dots\dots(2)$$

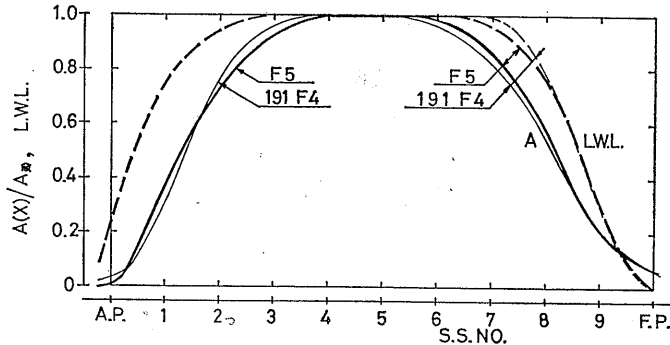


Fig. 2-3 Sectional Area Curves and Load Water Line Curves of 'F5' and '191F4'

添字はF船型あるいは資料「191」を示し、その船型の値を採用する。

基本船型の「191」の造波抵抗が比較的小さいが、横断面積曲線を変化させることによって、さらに造波抵抗を小さくする余地があることが判る。

これらの結果の抵抗の小さい場合の横断面積曲線を Fig. 2-3 に示す。同図には、これらの横断面積曲線から、船型の幾何学的条件の(5)を考慮して得られた水線面形状を示す。

資料番号「161」と「191」から得られた横断面積曲線による造波抵抗係数はほぼ等しく、資料番号「191」の水槽試験結果からの形状影響係数Kが大きい傾向にあることから、資料番号「166」を主体に考えていくことにした。(以下、資料番号「166」を省略する。)

Fig. 2-4 にバルブの大きさ  $f = A_{F.P.}/A_M$  に対する造波抵抗係数を示す。この図より、 $L/B=5.25$  のF船については6.5%のバルブを採用することに決め、「F5」ないしは「F4」の横断面積曲線を用いることにした。

$L/B=6$  のG船および  $L/B=4.5$  のH船については、これらの主要寸法を考えて、同一の船の長さで

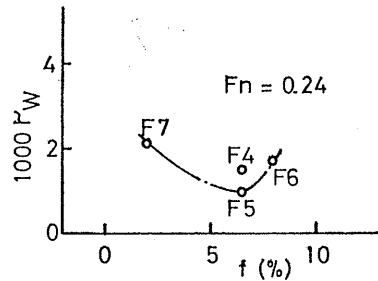


Fig. 2-4 Bulb Size and Wave Resistance Coefficient

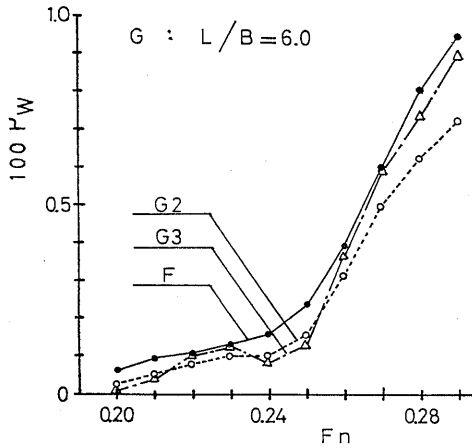


Fig. 2-5 Expected Wave Resistance Coefficients for Model 'G' ( $N \cong 400$ )

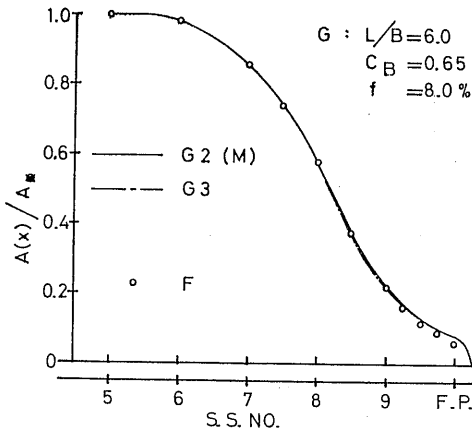


Fig. 2-6 Sectional Area Curves of 'G2' and 'G3'

F. P. の位置で横断面積がほぼ等しくなるように、G 船およびH船にそれぞれ8%と5%のバルブとした。すなわち、バルブの大きさ  $f$  の値を拘束することによって横断面積曲線への主要寸法比  $L/B$  による造波抵抗への影響を与えることにした。G 船およびH船の船体後半部の横断面積曲線はF船と等しくし、船体前半部について、統計解析の方法によって横断面積曲線を変えていった。Fig. 2-5 と2-6にG船について、Fig. 2-7 および2-8にH船についてそれぞれ造波抵抗係数の推定値と船体前半部の横断面積曲線を示す。G 船 ( $L/B=6$ ) としては、設定速度  $F_n=0.24$  の造波抵抗係数が小さいが、その設定速度より低速側の  $F_n=0.23$  で造波抵抗係数の山が目立つ「G3」を避けて、

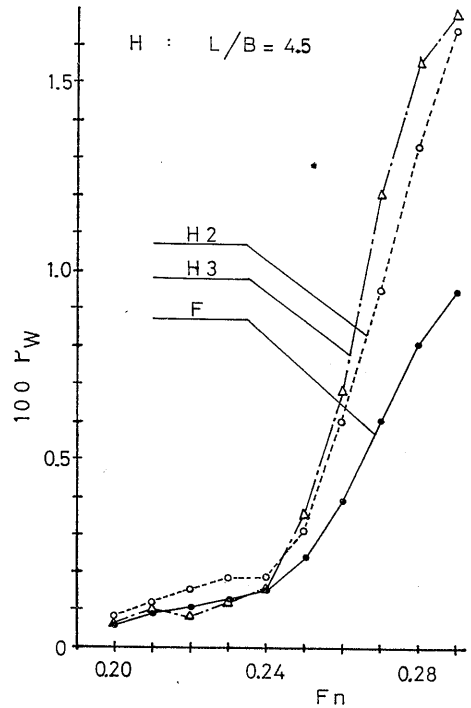


Fig. 2-7 Expected Wave Resistance Coefficients for Model 'H' ( $N \cong 400$ )

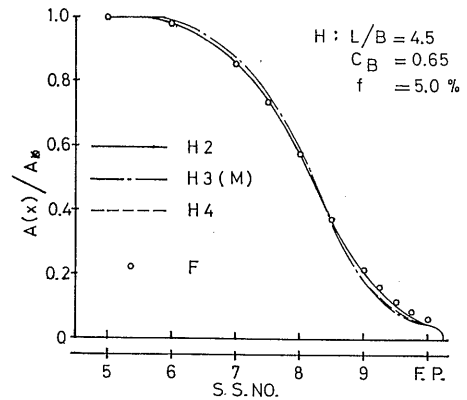


Fig. 2-8 Sectional Area Curves of 'H2' and 'H3', 'H4'

低速側から設計速度まで造波抵抗係数が小さく、かつ、 $F_n=0.24$  までの速度に対して一定である「G2」の横断面積曲線を採用することにした。また、 $L/B=4.5$  のH船は、S.S. NO.  $9\frac{1}{2}$  でやや細い「H3」を  $F_n=0.24$  で造波抵抗係数が小さいという理由で採用することにした。これらの横断面積曲線と「幅等に

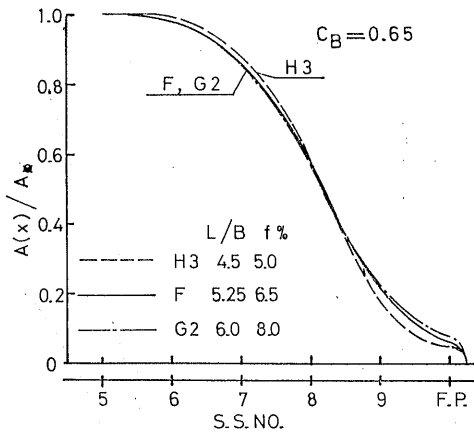


Fig. 2-9 Comparison of Sectional Area Curves of 'F' and 'G2', 'H3'

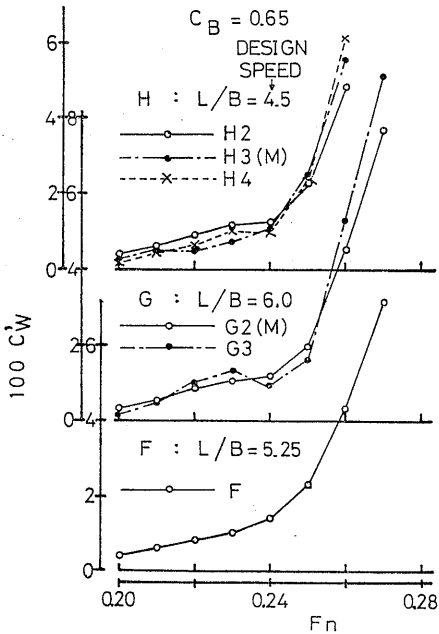


Fig. 2-10 Wave Coefficient  $C_w'$  Estimated by Regression Analysis Method ( $N=400$ )

よる造波抵抗係数」を Fig. 2-9 および 2-10 にそれぞれ示す。Fig. 2-10 に示されるように、主要目の異なる3隻の「幅等による造波抵抗係数」 $C_w'$  は船型の主要目による造波抵抗への影響が除去されて、ほぼ同一である。

以上のように横断面積曲線を決定したが、水槽試験の実施の都合で、全資料を収集し終える前に検討した

ため、必ずしも十分な統計学的吟味がなされておらず、また、統計解析の方法で採用した横断面積曲線の S.S. NO. の位置も 1, 3, 7, 8, 9, 9½ および F.P. の7点であって、これらについて後に考察することにした。

2.3 線図の決定

前節で決まった横断面積曲線より線図を作成した。長さ幅比  $L/B$  の 5.25, 6.0 および 4.5 の順に M. S. NO. 0326(F), 0327(G) および 0328(H) とした。

M. S. NO. 0327(G) の船型の横断面積曲線は M. S. NO. 0326(F) の船型に比して、船首バルブが大きい

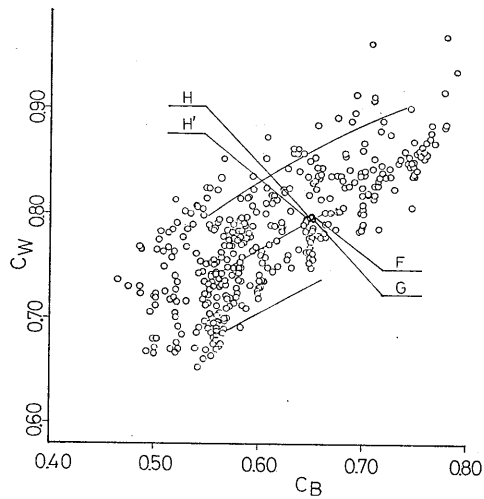


Fig. 2-11 Block Coefficients and Water Plane Area Coefficients

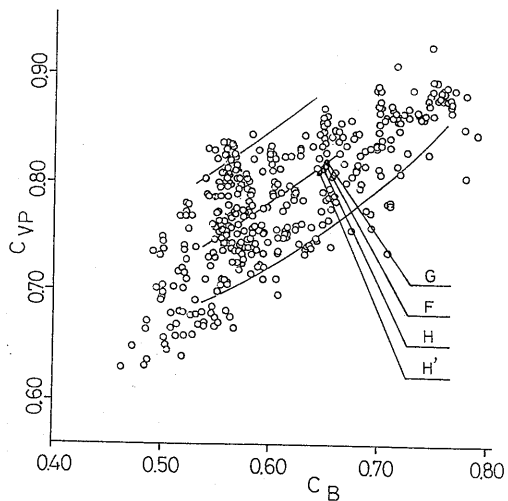
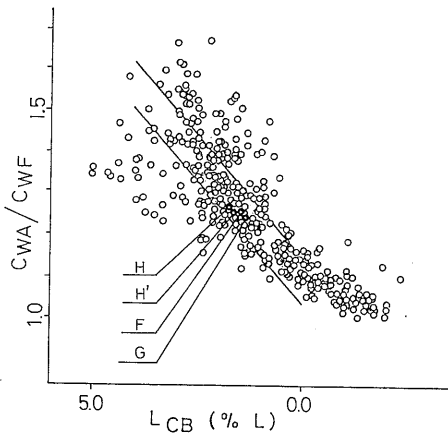


Fig. 2-12 Block Coefficients and Vertical Prismatic Coefficients





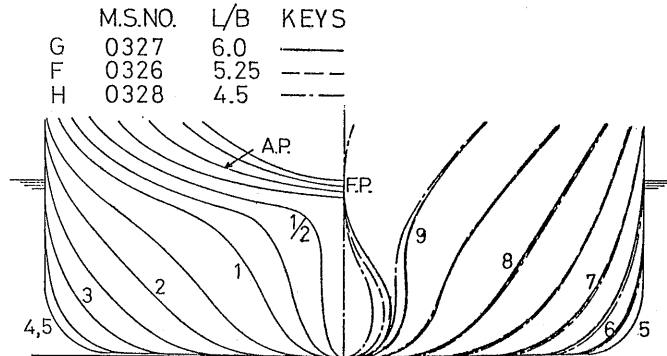
**Fig. 2-13** Longitudinal Centre of Bouyancy and Ratio of Aft and Fore Water Plane Area Coefficients

ので、F. P. から S. S. NO. 9 付近までは肥らせて、

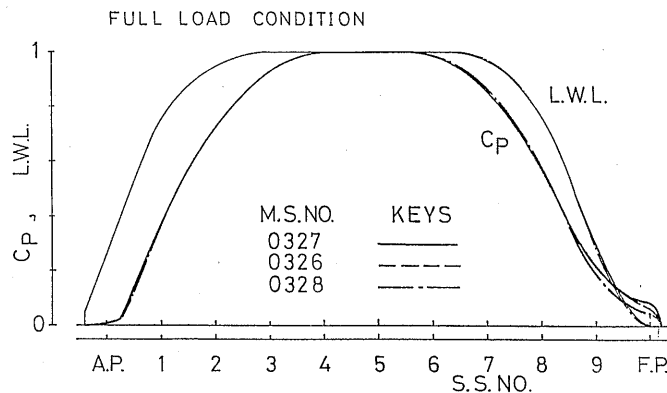
それ以降をやや瘠せさせて全体の柱形係数  $C_P$  を同じにした。M. S. NO. 0328(H) の船型では F. P. から S. S. NO. 8 $\frac{1}{2}$  までを瘠せさせた。

なお、船体後半部の船型形状は、3 船型とも相似の形状とし、同じ横截面積曲線とすることに決めた。

水線面形状については、Fig. 2-11~2-13 に示す  $C_B$  と  $C_w$  (水線面積係数) および  $C_{vp}$  (縦柱形係数) との関係ならびに  $l_{CB}$  と水線面積の前後比  $C_{wa}/C_{wf}$  との関係を考慮し、また、前節で述べた船型の幾何学的条件の(5)を考慮して、決定した。Fig. 2-11~2-13 の図中の点は、今回収集した資料の中の  $F_n=0.24$  の速度での抵抗値が計測されている 530 隻の結果であり、図中の曲線は昭和52年までに建造されたロールオン・ロールオフ船、カーフェリー船などの広幅浅喫水船の上限、下限ないしは中間の値を示している。図中の中間の値になるように心掛けるとともに、船首の波崩れが設定速度付近においても余り生じないように、エン



**Fig. 2-14** Body Plan



**Fig. 2-15** Sectional Area Curve and Load Water Line Curve at Full Load Condition

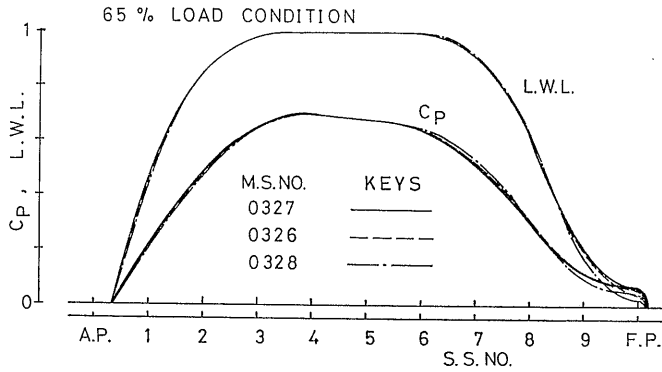


Fig. 2-16 Sectional Area Curve and Load Water Line Curve at 65% Load Condition

Table 2-1 Principal Dimensions

	G	F	H	H'
M.S.NO.	0327	0326	0328	0336
$L_{pp}$ (m)	6.000	6.000	6.000	6.000
$L_{DWL}$ (m)	6.240	6.240	6.240	6.240
B (m)	1.000	1.1429	1.3333	1.3333
FULL LOAD CONDITION				
$d_M$ (m)	0.2941	0.3361	0.3921	0.3921
TRIM (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
V ( $m^3$ )	1.1481	1.4989	2.0333	2.0264
S ( $m^2$ )	7.239	8.280	9.632	9.527
$C_B$ *	0.6502	0.6500	0.6480	0.6458
$C_{BA}$ *	0.6820	0.6823	0.6824	0.6779
$C_{BF}$ *	0.6185	0.6178	0.6136	0.6136
$C_P$ *	0.6700	0.6697	0.6676	0.6653
$C_W$	0.7945	0.7980	0.7976	0.7976
$C_{WA}$	0.8813	0.8875	0.8883	0.8882
$C_{WF}$	0.7077	0.7084	0.7069	0.7069
$C_M$	0.9704	0.9707	0.9706	0.9706
$l_{CB}$ * (% AFT +)	1.39	1.45	1.65	1.52
B/d	3.4	3.4	3.4	3.4
$L_{pp}/B$	6.0	5.25	4.5	4.5
$V/L_{pp}^3 \times 10^3$	5.315	6.939	9.413	9.381
BULB	AREA (% OF $A_M$ )	8.21	6.55	4.84
	LENGTH (% OF $L_{pp}$ )	2.0	2.0	2.0
	IMMERSION (% OF $d_{FULL}$ )	70.2	70.2	70.2
65 % LOAD CONDITION				
$d_M$ (m)	0.2022	0.2314	0.2702	0.2704
TRIM (m)	0.06	0.06	0.06	0.06
V ( $m^3$ )	0.7465	0.9746	1.3219	1.3174
S ( $m^2$ )	5.896	6.7073	7.793	7.770
$C_B$ *	0.6147	0.6136	0.6112	0.6086
$C_{BA}$ *	0.6742	0.6687	0.6639	0.6588
$C_{BF}$ *	0.5551	0.5585	0.5584	0.5585
$C_P$ *	0.6423	0.6410	0.6384	0.6358
$C_W$	0.7055	0.7040	0.7003	0.6975
$C_{WA}$	0.7561	0.7538	0.7506	0.7450
$C_{WF}$	0.6549	0.6541	0.6499	0.6500
$C_M$	0.9570	0.9573	0.9573	0.9573
$l_{CB}$ * (% AFT +)	2.32	2.18	2.23	2.07
B/d	4.946	4.939	4.933	4.931
$V/L_{pp}^3 \times 10^3$	3.456	4.512	6.120	6.099

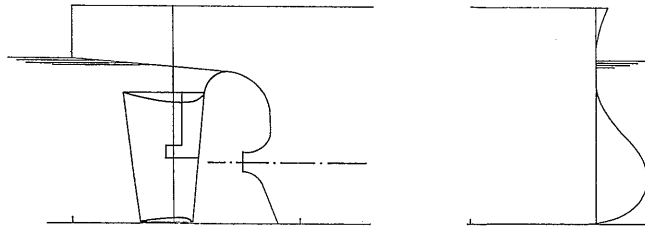


Fig. 2-17 Profile of Stem and Stern

トランス部の水線入角は、小さい  $L/B$  の値によって大きくなることを避けて、最大7度とした。

これらの作業から得られた模型船の正面図を Fig. 2-14に、満載状態と満載の65%排水量のバラスト状態の横断面積係数曲線と水線面形状を Fig. 2-15 と2-16 にそれぞれ示す。

模型船は長さ  $L_{pp}=6\text{m}$  で、その主要目を Table 2-1 に示す。船型の船首尾形状は Fig. 2-17 に示すが、3隻とも同型である。

ビルジ・キールについては、中型造船工業会の建造マニュアル<sup>20)</sup>によって、その長さを  $L_{pp}/4$  の1.5mとし、幅を20mm (実船寸法で長さ37.5m, 幅0.5m) として3隻とも共通とした。また舵は厚さを3隻とも同一とし、喫水に比例して舵の深さを伸縮させて、舵面積と船の縦断面積との比が一定となるようにした (Fig. 2-17)。

### 3. 水槽試験状態

3隻の模型船によって実施した水槽試験は、抵抗試験、自航試験及び抵抗・自航両試験時における波形計測である。 $L/B=4.5$  の最も幅の広い模型船 M. S. NO. 0328 については、広幅船型の伴流計測例が極めて少ないので、今後の設計の資料とするためにプロペラ位置における伴流を計測した。

自航試験には、プロペラ直径  $D_p=0.20\text{m}$  の M. P. NO. 1736 と  $D_p=0.23\text{m}$  の M. P. NO. 2062 の代用プロペラを使用した。 $L/B=4.5$  の M. S. NO. 0328(H) と  $L/B=5.25$  の M. S. NO. 0326(F) の幅の広い船型には直径の大きいプロペラ M. P. NO. 2062 を使用し、 $L/B=6$  の幅の狭い船型 M. S. NO. 0327(G) には直径の小さいプロペラ M. P. NO. 1736 を使用した。これらのプロペラの主要目を Table 3-1 にまた、解析に用いたプロペラ単独試験結果を Fig. 3-1 および 3-2 にそれぞれ示す。 $L/B=5.25$  の M. S. NO. 0326

Table 3-1 Dimension of Propellers

M. P. NO.	1736	2062
DIAMETER (m)	0.200	0.230
BOSS RATIO	0.180	0.180
PITCH RATIO	0.750	0.870
EXPANDED AREA RATIO	0.550	0.550
NUMBER OF BLADES	4	4
BLADE SECTION	MAU TYPE	AU TYPE

(F) については上述の試験に追加して、プロペラ直径の小さいプロペラ M. P. NO. 1736 による自航試験を満載状態のみ実施し、プロペラ直径の大小による自航要素の比較を行うこととした。

試験状態は、満載状態と満載時の排水量の65%のバラスト状態の2状態である。満載状態はトリムが0であるが、65%のバラスト状態は船長  $L_{pp}$  の1%の船尾トリムである。それらの状態を Table 2-1 に示す。なお、模型船には乱流促進法として F. P. および S. S. NO. 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> の2か所に高さ1mmの台形スタンドを10mmの間隔で植えた。

## 4. 水槽試験及び試験結果

### 4.1 抵抗試験

当所三鷹第2船舶試験水槽 (通称400m水槽、長さ×幅×深さ=400m×18m×8m) でこれら3隻の模型船の水槽試験を実施した。

抵抗試験で得られた全抵抗係数  $C_T$  を Fig. 4-1 に示す。Schoenherr の式で表わされる摩擦抵抗係数を使用して剰余抵抗係数  $r_R (=R_R/\rho V^2 p^{2/3})$  を求めた。また、フルード数  $F_n$  で0.10付近の速度で造波抵抗が零となるように、形状影響係数  $K$  を求め、その値を使って造波抵抗係数  $r_w$  を求めた。剰余抵抗係数および造波抵抗係数をそれぞれ Fig. 4-2 と4-3に示す。満載状態では長さ幅比  $L/B$  が6.0から5.25さらに4.5と小さくなるにつれて全抵抗係数、剰余抵抗係数および造波

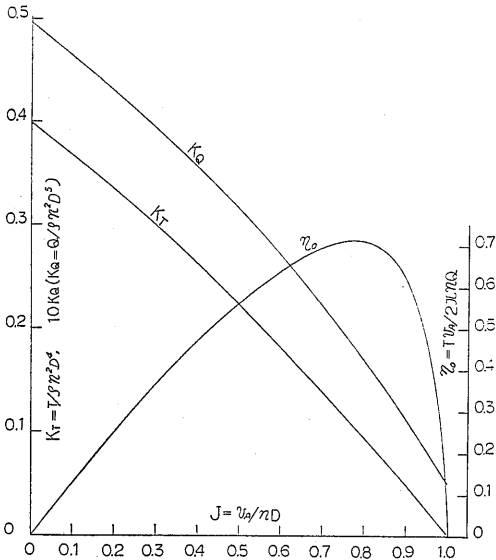


Fig. 3-1 Characteristics of Model Propeller M. P. NO. 2062

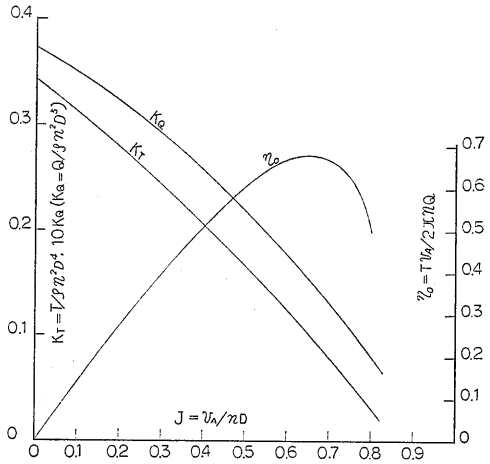


Fig. 3-2 Characteristics of Model Propeller M. P. NO. 1736

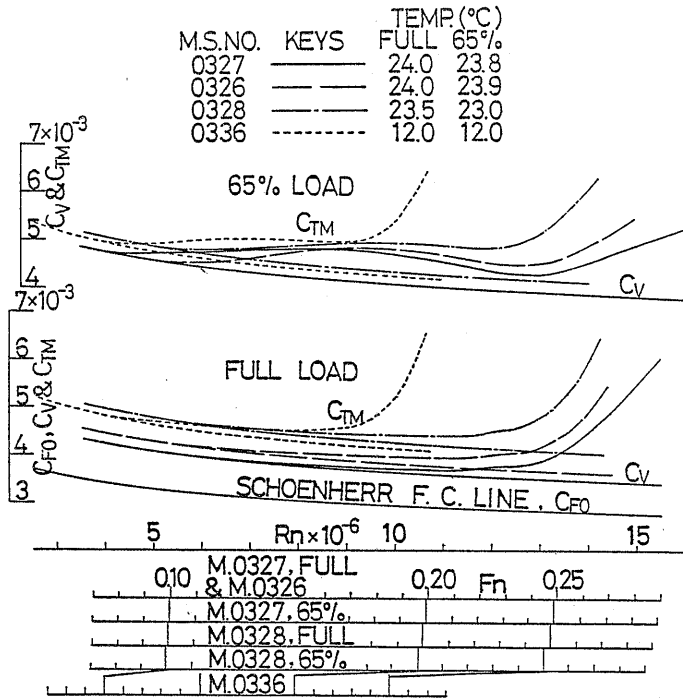


Fig. 4-1 Total Resistance Coefficients

抵抗係数も増大している。満載排水量の65%に相当するバラスト状態では、フルード数  $F_n$  の0.23以上の高速側では満載状態と同じ傾向を示すが、低速側では船

首のバルブの突出部付近が水面を切って波をたてるためか、バルブの大きさが異なる3隻の間の大小関係が変化している。

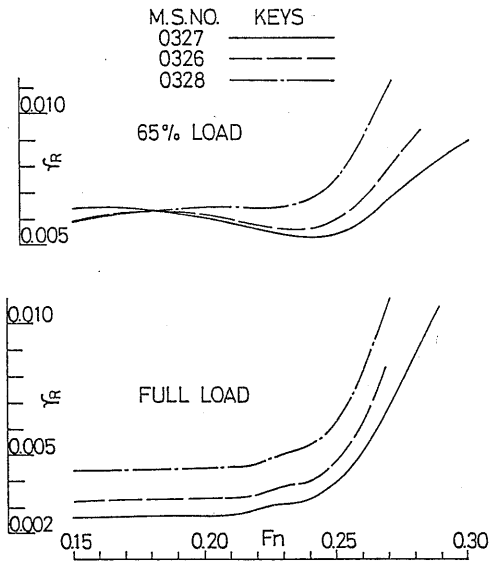


Fig. 4-2 Residuary Resistance Coefficients

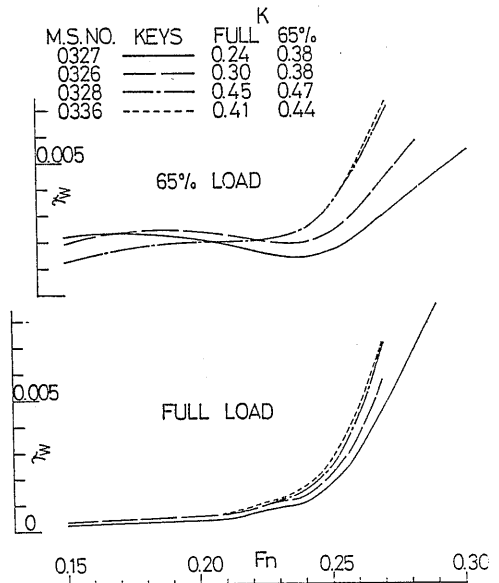


Fig. 4-3 Wave-Making Resistance Coefficients

Table 4-1 Form Factor

M.S.NO.		0327	0326	0328	0336	
FULL LOAD	EXPERIMENT	0.24	0.30	0.45	0.41	
	CALCULATION	GROSS & WATANABE	0.21	0.27	0.36	0.36
		TAGANO	0.17	0.19	0.23	0.23
		SASAJIMA	0.20	0.28	0.49	0.47
65 % LOAD	EXPERIMENT	0.38	0.38	0.47	0.44	
	CALCULATION	GROSS & WATANABE	0.17	0.22	0.29	0.29
		TAGANO	0.14	0.15	0.20	0.20
		SASAJIMA	0.18	0.21	0.33	0.32

形状影響係数  $K$  を Table 4-1 に示す。表には Gross と渡辺の式，多賀野の式および笹島の式の推定式から得た結果も示した。満載状態においては，笹島の式の 1 例を除いて，推定値よりも実験値の方が大きい。これら推定式が従来の船型の水槽試験結果の資料から求めている，それらの平均値を表わしているとも考えられるから，平均値だとすると，長さ幅比  $L/B$  の 6.0 の場合でも今回の実験値の方が大きいことから，長さ幅比  $L/B$  以外の要因が働いていると思われる。その要因としては，S.S. NO.1 から S.S. NO. 1/4 付近までがやや肥えていることあるいは船尾の水線面積を大きく肋骨線形状がそれによって大きく変化したために流れに無理が生じて剥離ないしは渦が発生したとも考

えられる。65%排水量のバラスト状態での実験値はこれら推定式とはその適用の範囲外のためと思われるが大きく異なっている。

抵抗試験時に波形を計測した。模型船の縦中心面から半船長 ( $L/2=3m$ ) 程左舷側に設置された容量型波高計を使用し，船の進行方向いわゆる longitudinal line 上で計測した。計測速度はフルード数  $F_n$  で 0.20, 0.22, 0.24 および 0.26 であり，さらにそれらの中間の速度においても計測するように努めた。なお，水槽試験時の実験日程の都合で，抵抗試験を実施しているときに併行して計測した。(そのため，計測した波形には対水速度計による波をも含まれている。しかし，対水速度計だけによる波を別途に計測した結果か

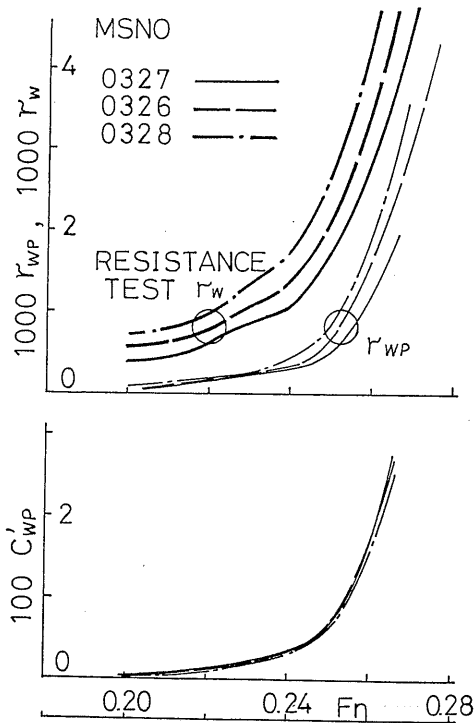


Fig. 4-4 Wave Pattern Resistance Coefficients by Wave Analysis

ら、波の高周波成分には影響があるが、模型船の波形による造波抵抗には定量的にはほとんど影響がないことが判明している。

計測した波形を Newman—Sharma 法にて解析した。その解析によって得られた造波抵抗を Fig. 4-4 に示す。波形による造波抵抗は抵抗試験から得た造波抵抗の約1/3から1/4であるが、波形による造波抵抗は係数  $r_{wp}$  の表示では  $L/B$  の比の大小によって異なっているが、「幅等による造波抵抗係数」 $C_{wp}'$  で表現すると、3隻とも一致しており、以下に示す抵抗試験の結果と良く一致している。Fig. 4-5 に  $L/B$  を横軸にして満載状態の  $r_R$ ,  $r_w$  および  $C_w'$  を示す。 $L/B$  が大きくなるにつれて  $r_R$  も  $r_w$  も小さくなることは従来の船型試験の結果と変わらないが、 $C_w'$  ではほぼ一定とまとまっている。Table 3-1 の主要目に示すように、 $L/B$  の大きさに応じてバルブの大きさが異なっているにもかかわらず、このバルブの変化の範囲内では  $L/B$  の大小は、波形から求めた  $C_{wp}'$  にもまた抵抗試験から得た  $C_w'$  にもほとんど影響を与えていない。なお、同図の  $r_w$  と  $C_w'$  には、式(2)から統計

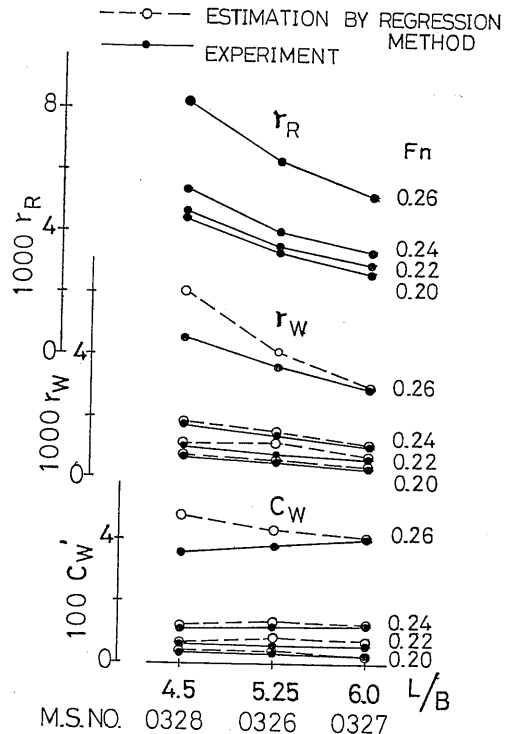


Fig. 4-5  $L/B$  and  $r_R$ ,  $r_w$ ,  $C_w'$

解析の方法で得た推定値の結果をも示した。推定値と実験値は低速側から設定年度の  $Fn=0.24$  付近までは良く一致している。(このときの水槽試験の資料収集はまだ1/3程度であり、全部資料と収集した後の結果は第5章で述べる。)

65%排水量のバラスト状態については、形状影響係数  $K$  と造波抵抗係数  $r_w$  の水槽試験資料を収集していないが、バルブの大きさによる形状影響係数  $K$  への寄与が大きいなど、満載状態と異なる点があるので、資料収集した段階で改めて検討する必要がある。

抵抗試験時の船の姿勢である船体沈下量とトリムを Fig. 4-6 に満載状態と65%のバラスト状態とに分けて示す。 $L/B$  の値が小さくなるにつれて、航走中の姿勢変化が大きいことがわかる。

#### 4.2 自航試験

自航試験の結果は、模型プロペラの単独試験結果を利用して、スラスト一致法にて解析した。実船長さを150mとし、 $AC_F=0.00015$  とした。その解析結果である自航要素を Fig. 4-7 と 4-8 に示す。また、 $L/B=5.25$  の M. S. NO. 0326(F) の満載状態についてだ

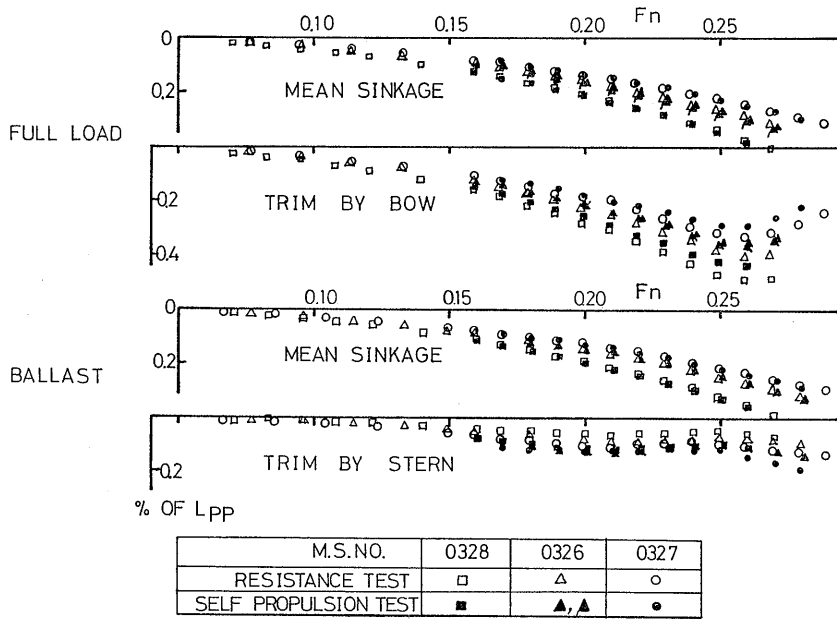


Fig. 4-6 Sinkage and Trim

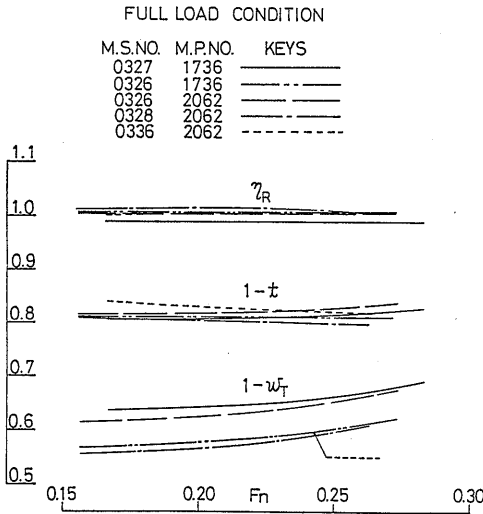


Fig. 4-7 Results of Self-Propulsion Test at Full Load Condition

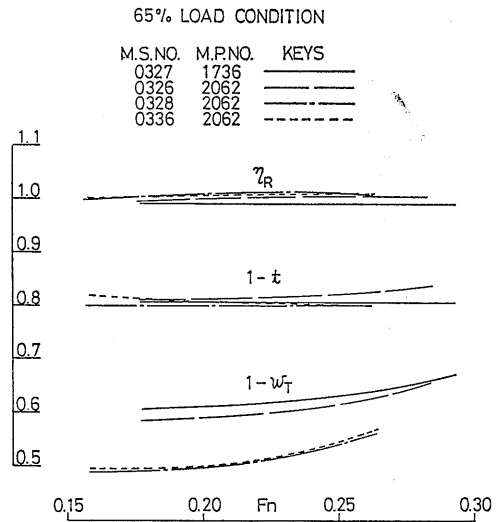


Fig. 4-8 Results of Self-Propulsion Test at 65% Load Condition

け、プロペラ直径の異なるプロペラ自航試験を行い、プロペラ直径の大小による自航要素への影響を調べた。その結果を Fig. 4-7 に示す。全体的に推進効率比  $\eta_R$  あるいは  $1-t$  は僅かながら差があるのに対し、 $1-w_T$  は場合によっては 0.05 も変化している。

Fig. 4-9 に満載状態における  $L/B$  に対する自航

要素を示す。図中で直線で結んだ点は同じプロペラを使用したことを示している。 $\eta_R$  はほぼ 1.0 で一定であるが、 $1-w_T$  は  $L/B$  の値が大きくなるにつれて大きくなる傾向を示し、 $1-t$  も  $1-w_T$  と同様な傾向を示している。

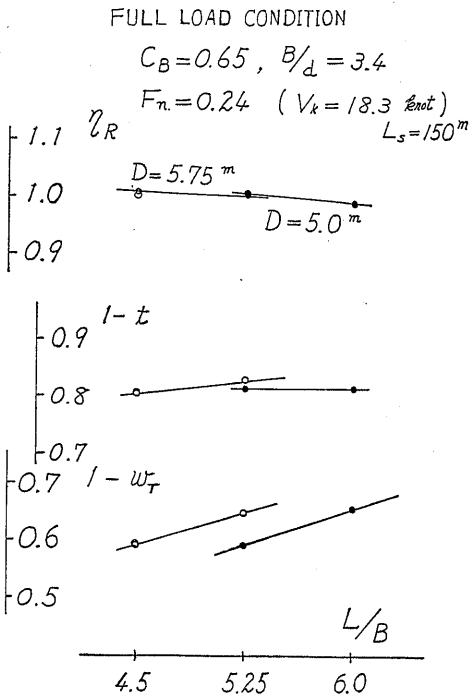


Fig. 4-9  $L/B$  and  $\eta_R$ ,  $1-t$ ,  $1-w_T$

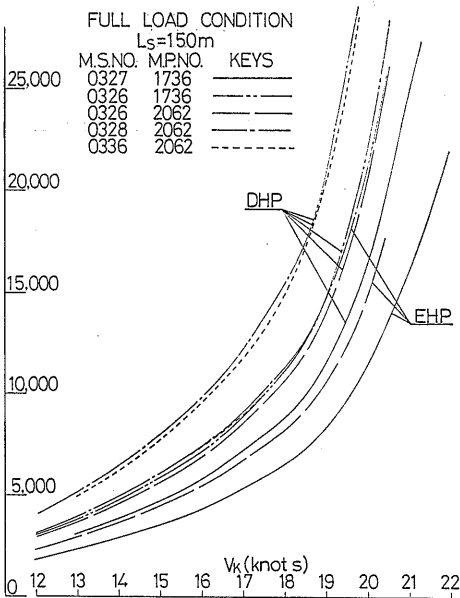


Fig. 4-10 EHP and DHP at Full Load Condition

これらの結果より、実船 ( $L_{pp}=150m$ ) として算出  
 (230)

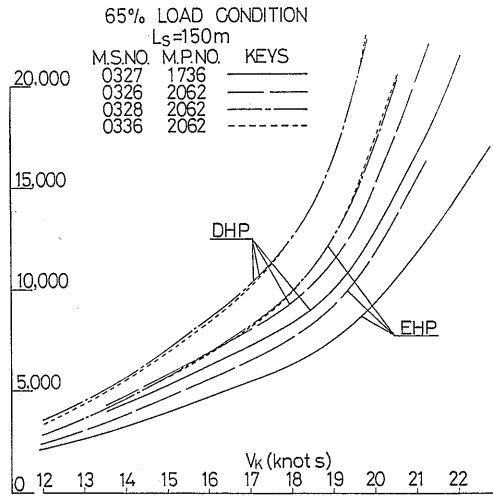


Fig. 4-11 EHP and DHP at 65% Load Condition

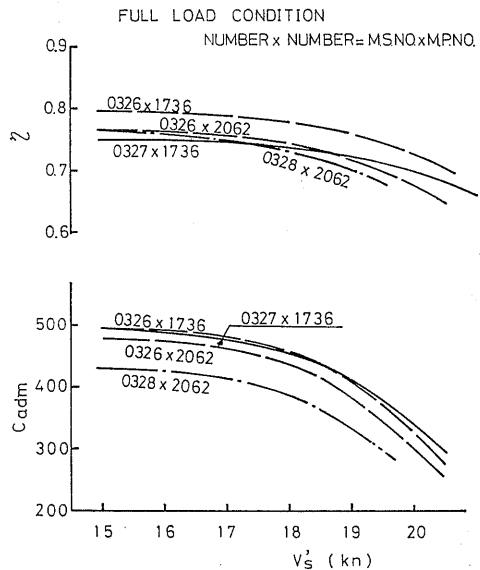


Fig. 4-12  $\eta$  and  $Ca_{DM}$

した有効馬力及び伝達馬力を Fig. 4-10 と 4-11 に示す。満載状態では  $L/B$  が小さくなるにつれて、馬力が高くなっているが、65% 排水量のバラスト状態では、バルブが水面に突出するために抵抗が増大した影響が伝達馬力曲線にも表われている。

Fig. 4-12 に水槽試験結果から得られた  $\eta$  とアドミラリティ係数  $Ca_{DM}$  を満載状態について示す。実船 ( $L_s=150m$ ) の速度で 17 ノットを越すとアドミラリ



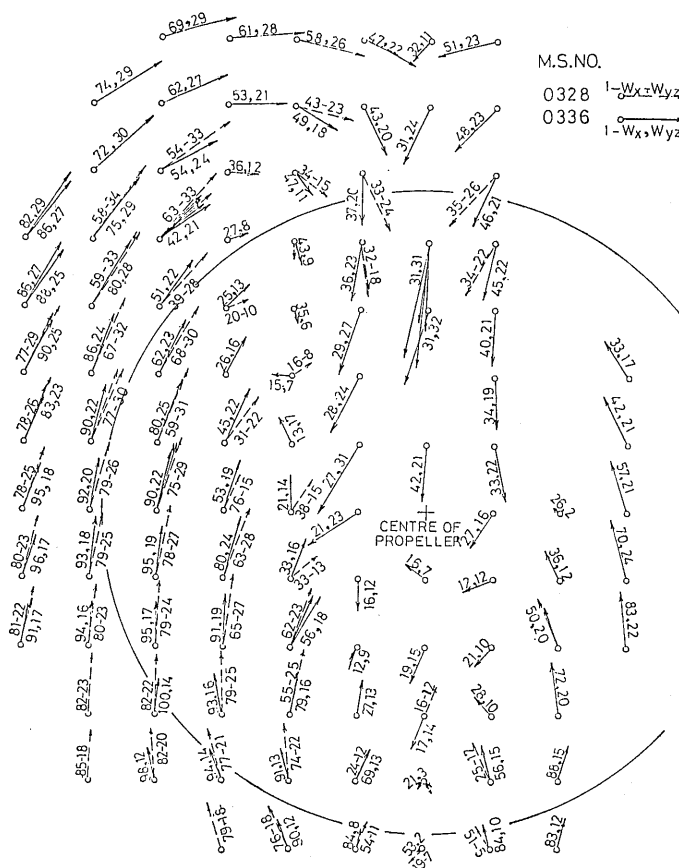


Fig. 4-13 Wake Flow of M.S. NO. 0328 and 0336

ティ係数も効率 $\eta$ も小さくなる傾向が示されているが、設定速度の18.2ノットでは約1割もアドミラリティ係数が小さくなっている。また  $L/B=4.5$  の M.S. NO. 0328 場合は  $L/B=6$  の M.S. NO. 0327 場合よりも13%近くもアドミラリティ係数が小さくなっている。

なお自航試験時の船体姿勢変化を Fig. 4-6 に示すが抵抗試験時と同様な傾向を示している。

#### 4.3 伴流計測

プロペラ面における流向および流速を球型5孔ピトー管を使って、M.S. NO. 0328 のみの模型船に限って計測した。計測した速度は  $F_n=0.24$ 、 $V_M=1.877\text{m/sec}$  で、その結果を Fig. 4-13 に示す。

M.S. NO. 0328 は船尾端の形状がやや鈍であり、5孔管で測定できる流向の最大角度  $30^\circ$  を越える範囲が多く、流れが剥離している恐れがある。今後は8孔管などを利用するとかの計測方法を検討するとともに、

船尾形状を変化させて推進性能が向上するように流れを制御することが重要と考える。

## 5. 考 察

### 5.1 造波抵抗および剰余抵抗

水槽試験の資料をさらに継続して収集して、本シリーズを計画したときの400隻弱から830隻を越すほどになった。数の増加した資料の中から本シリーズに利用できる約700隻を選んで、以下の検討を行った。約700隻の資料のうち、 $F_n=0.24$  の速度で水槽試験を実施しているのは536隻であり、その536隻の  $C_B$ 、 $L/B$  及び  $B/d$  のヒストグラムを Fig. 5-1 に示す。図中には本シリーズの船型計画を実施した資料総数400隻弱のとき(このとき  $F_n=0.24$  での資料数は243である。)のヒストグラムをも示す。これらを比べてみると、全体的に資料数が増加しているが、比較的、 $L/B$  の小さい資料、あるいは  $B/d$  の大きい資料の数

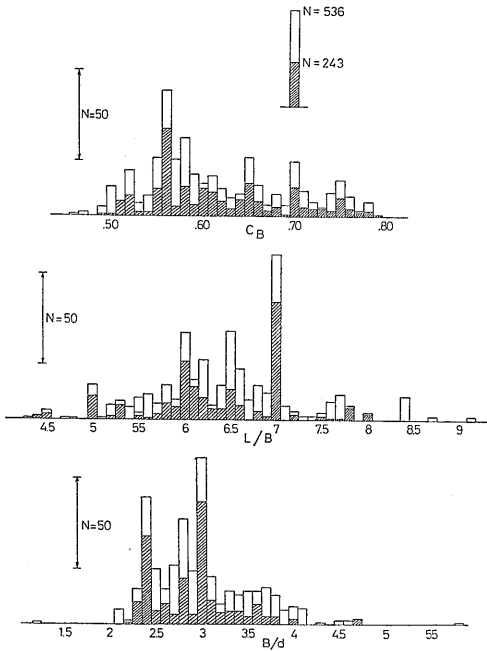


Fig. 5-1 Histogram of  $C_B$  and  $L/B$ ,  $B/d$

が増加したことがわかる。

Fig. 5-2 には、資料の全部の場合と、 $C_B$  の値によって0.6から0.7までと層別した場合とのそれぞれの横断面積曲線の平均 ( $m$ ) と標準偏差 ( $\sigma$ ) を求め平均値を中心として標準偏差分を加速して得た領域 ( $m \pm \sigma$ ) を示した。全資料を利用した場合において、船体後半部の標準偏差よりも船体前半部の標準偏差の方が大きいことが注目される。

これらの資料を使用して統計解析の方法で造波抵抗を推定して、水槽試験の結果と比較した。Fig. 5-3 は

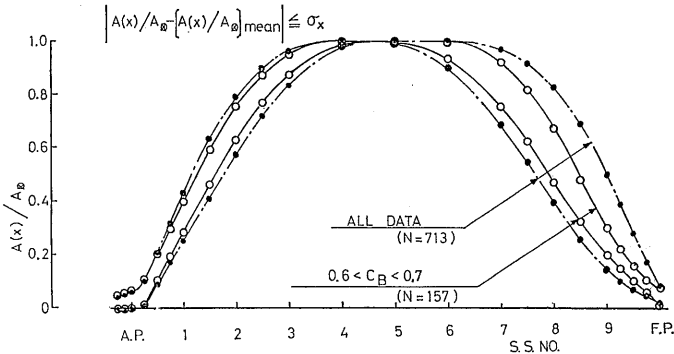


Fig. 5-2 Range of Sectional Area Curves

$L/B$	EXPERIMENT	EXPECTATION
4.5	—————	—○—
5.25	-----	-△-
6.0	—————	-□-

(K : EXPERIMENT)

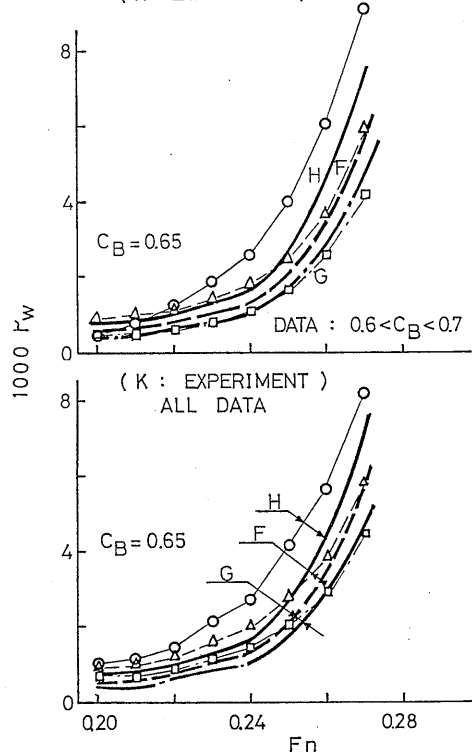


Fig. 5-3 Comparison of  $r_w$  with  $K$  obtained by Tank Test

水槽試験より得られた形状影響係数  $K$  を使用して造波

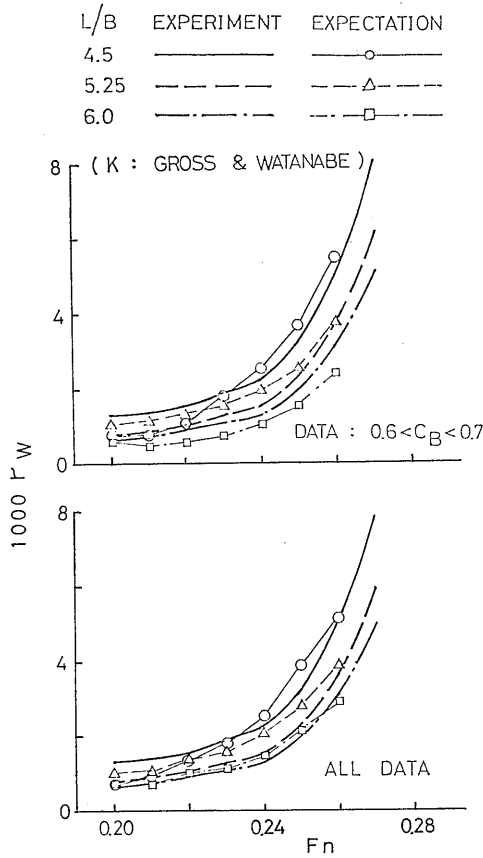


Fig. 5-4 Comparison of  $r_w$  with  $K$  obtained by Gross & Watanabes' Formula

抵抗を推定した場合の結果である。図の下半分は、全資料を使用した場合を、図の上部分は  $C_B$  の値によって層別した場合を示した。全資料を使用した場合も  $C_B$  の値で層別した場合も  $L/B=4.5$  の M.S. NO. 0328 (Hと表示してある。)と  $L/B=5.25$  の M.S. NO. 0326 (Fと表示してある。)は、低速側のフルート数0.21までを除いて、推定値が高めであるのに対し、 $L/B=6$  の M.S. NO. 0327 (Gと表示してある。)は推定値と実験値と大略一致している。Fig. 5-1の  $L/B$  のヒストグラムで  $L/B$  の6以上に大部分の資料であり、6よりも小さい方は数が少ない。このことを考え合わせて  $L/B$  の造波抵抗への影響を考えると、幅Bの平方に比例するとした式(1)および(4)に問題があると思われる。また、幅がほぼ実用船型ほどに広い理論船型を幅を変化させて実験した結果でも造波抵抗が幅の平方ほどには増加しないことが示されており、こ

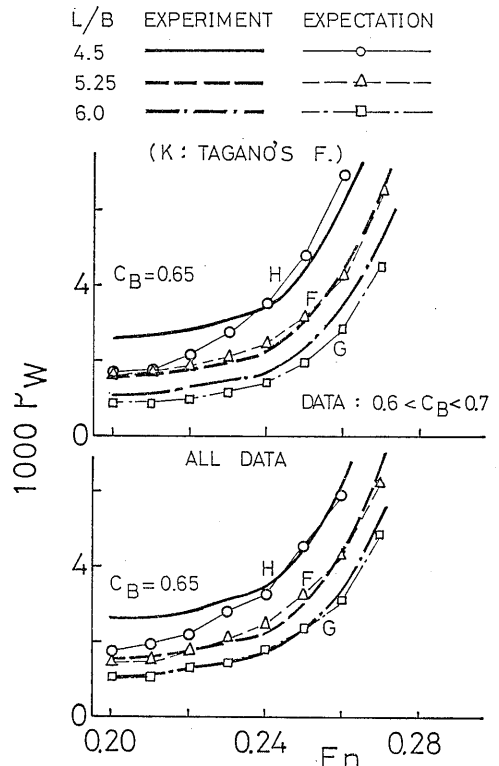


Fig. 5-5 Comparison of  $r_w$  with  $K$  obtained by Taganos' Formula

の点について統計的にさらに検討していく必要がある。

水槽試験結果から求めた形状影響係数  $K$  を用いるのではなく、何らかの推定式による形状影響係数  $K$  を使用して、形状影響係数と同時に造波抵抗係数をも推定できれば、初期の船型計画に活用でき、利用度の高い方法となると考えられる。形状影響係数の推定式は種々提案されているが、ここでは Gross—渡辺の式、多賀野の  $C_B \leq 0.75$  の場合の式と笹島の式を使った場合の結果で検討を行った。

Fig. 5-3 の水槽試験結果の形状影響係数を使用した結果と比較して、推定式を利用した結果の Fig. 5-4~5-6は推定値と実験値との一致度が全体的に良い傾向があるが、M.S. NO. 0328 の  $F_n=0.24$  より低速側での差が目立つ。全資料を使用したときと  $C_B$  の0.6から、0.7までの資料を使用したときの差も余り明瞭でなく、形状影響係数の推定とともに今後の統計学的検討の結果を待たねばならない。

L/B	EXPERIMENT	EXPECTATION
4.5	—————	—○—
5.25	- - - - -	- -△- -
6.0	- · - · -	- ·□- ·

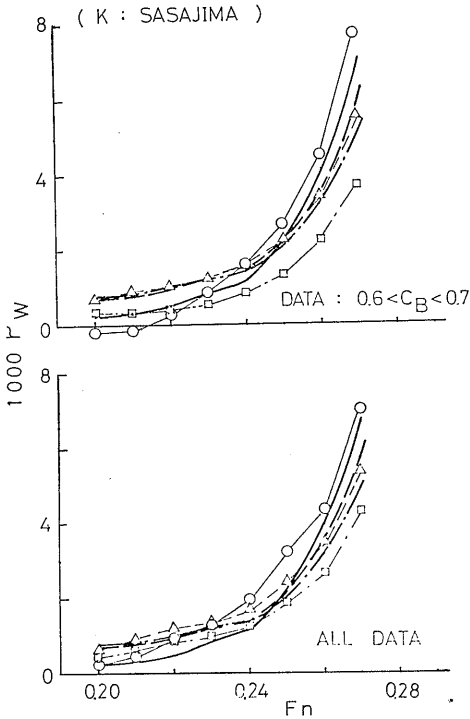


Fig. 5-6 Comparison of  $r_w$  with  $K$  obtained by Sasajimas' Formula

以上のように造波抵抗係数を検討する際には形状影響係数の値に左右されることがあるので、そこで剰余抵抗係数で検討する<sup>17)</sup>ことを試みた。統計解析の方法によって求める目的変数を造波抵抗係数から剰余抵抗係数に代えて、次式で示される重回帰方程式を考えた。

$$C_{R'} = r_R/h$$

$$= G_{00}f_0f_0 + G_{01}f_0f_1 + \dots + G_{ij}f_if_j$$

$$+ \dots + G_{nn}f_nf_n \quad \dots(8)$$

ここに

$$r_R = \frac{R_R}{\rho V^2 \tau^{2/3}}$$

$$h = \frac{C_M^2}{\pi} \left( \frac{1}{C_B} \frac{B}{L} \frac{B}{d} \right)^{2/3}$$

$$\times (1 - e^{-K_0 L \frac{B}{L} \frac{d}{B}})^2$$

式(8)では形状影響係数 $K$ による寄与分をも含まれて

L/B	EXPERIMENT	EXPECTATION
4.5	—————	—○—
5.25	- - - - -	- -△- -
6.0	- · - · -	- ·□- ·

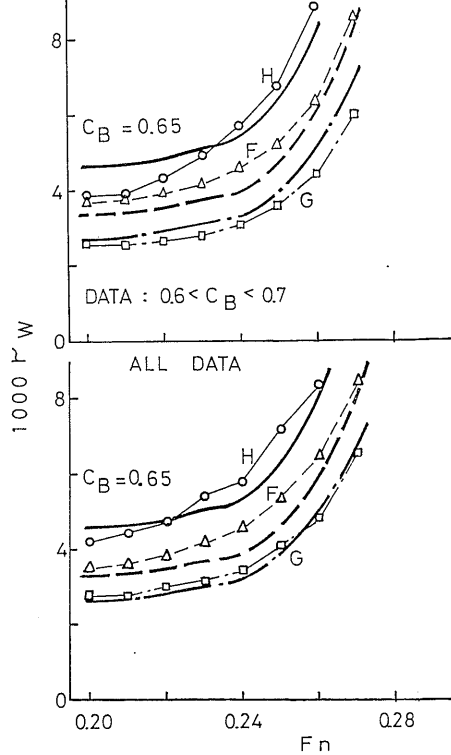


Fig. 5-7 Comparison of  $r_r$

いるが、これは形状影響係数 $K$ の一部である圧力抵抗成分が船体横截面積曲線の函数とも考えられることに基づいている。しかし、形状影響係数には圧力抵抗成分の他に粘性抵抗の成分もあり式(8)の表現が統計解析上十分であるかどうかさらに検討する必要がある。この方法で、全体の資料と $C_B$ の値によって層別した資料で解析した結果を Fig. 5-7 に示す。推定値と実験値とは定性的に一致しているが、定量的には、 $C_B$ を層別したときのH船型(M. S. NO. 0328)の低速域の場合のように、推定値と実験値との差がやや大きく、これら残差に対する検討は前述の式(8)の説明変数の選択とともに今後の課題である。

以上の造波抵抗および剰余抵抗の結果を、 $L/B$ を横軸にとって Fig. 5-8 および5-9 に示す。Fig. 5-8 は全部の資料を使用し、実験から求められた形状影響係数 $K$ を利用した Fig. 5-3 の下の図に相当する。両

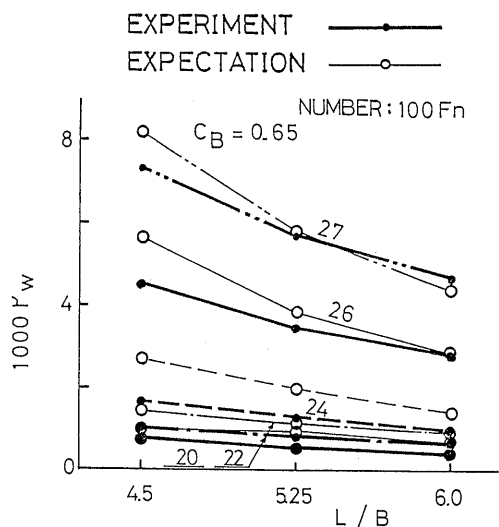


Fig. 5-8  $L/B$  and  $r_w$

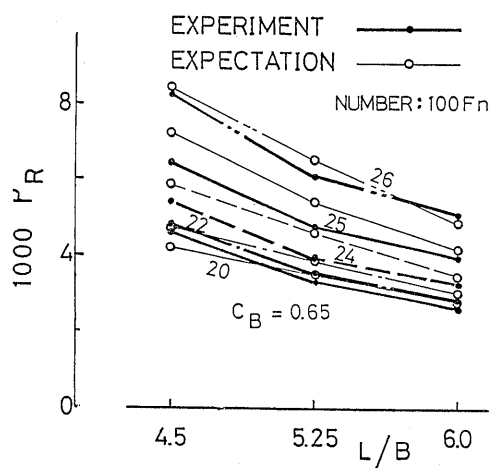


Fig. 5-9  $L/B$  and  $r_R$

図とも掛水量による抵抗係数で表示しているため、右下りとなっているが、 $L/B=4.5$  の  $F_n=0.22$  以上の不一致が目立つ。収集データ資料の少なかったときの Fig. 4-5 と比較して、 $F_n=0.24$  での実験値と推定値との差が大きくなっている。今後統計解析の方法によってその差の有意性を検討するとともに推定精度向上のための方策を考える必要がある。

5.2 形状影響係数

形状影響係数  $K$  について実験値と 3 つの推定式による値とを Fig. 5-10 に示す。

Gross—渡辺の式

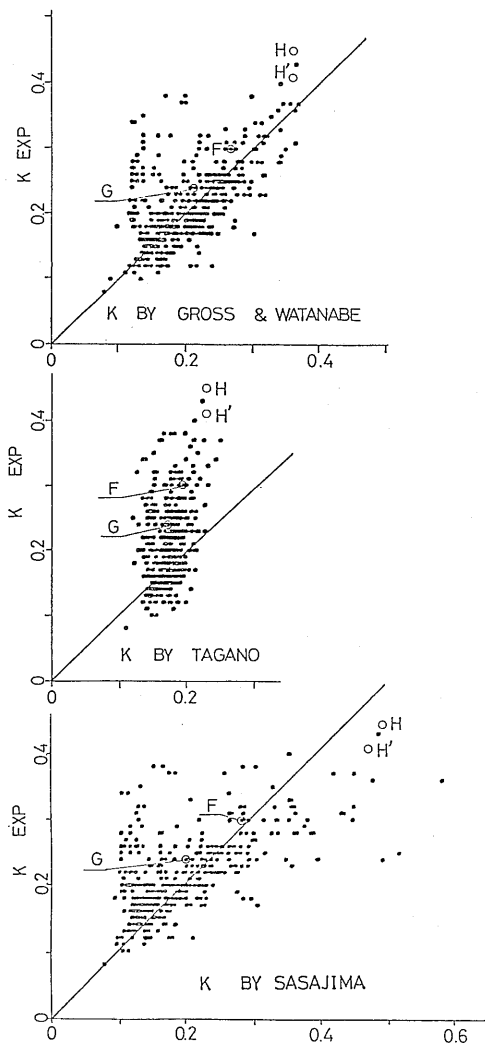


Fig. 5-10 Comparison of Form Factor

$$K = 0.017 + \frac{20 \cdot C_B}{\left(\frac{L}{B}\right)^2 \sqrt{\frac{B}{d}}} \quad (5)$$

多賀野の式

$$K = \frac{1.55 C_M}{\frac{L}{B} \sqrt{\frac{B}{d}} \cdot C_B} \quad (3)$$

笹島の式

$$K = \sqrt{\frac{V}{L^3}} \left( 2.2 C_B + \frac{P}{C_B} \right) \quad (6)$$

ここに

$$P = 3.89\gamma - 10.11\gamma^2 - 1.29\gamma^3 + 38.5\gamma^4$$

$$\gamma = \frac{1}{\frac{L}{B} [1.3(1 - C_B) - 0.031'c_B]} \quad (7)$$

Gross一渡辺の式も多賀野の式も実験値よりも小さく推定しているが、笹島の式の  $L/B=4.5$  の H 船型 (M. S. NO. 328) の場合だけが実験値よりも大きい。なお、図中の点は収集した資料の結果であり、多賀野の推定式が 0.2 を越えることが、極く僅かであることが目立つ。これらの結果と前部の結果と合わせて、形状影響係数と造波抵抗係数を同時に推定して精度を向上させるなどの方法が今後の課題と思われる。

5.3 船尾改良船型の船型計画および水槽試験結果

5.1 および 5.2 節で示したように、 $L/B=4.5$  の M. S. NO. 0328(H) は  $F_n=0.20$  付近での造波抵抗の実験値は推定値よりも大きく、また、形状影響係数  $K$  も笹島の式による推定値以外は実験値の方が大きいことが判明した。これらの原因として、船体後半部がやや後方で肥えていて、かつ、 $L/B=4.5$  という広幅の条件と重なって圧力抵抗が増大したためと予想された。

そこで、S. S. NO.2 より後方の形状を、特にプロペラの上方向部分を瘠せさせて、水槽試験を行うことにした。水槽試験資料を使った統計解析の方法で S. S. NO. 1 $\frac{1}{2}$  の横断面積を検討して、Fig. 5-11 に示す模型船を製作した。この模型船を M. S. NO. 0336(H') とした。その主要目を Table 2-1 に示す。横断面積曲線と水線面積曲線を満載状態とバラスト状態についてそれぞれ Fig. 5-11 および 5-12 に示す。ビルジ・キールと舵の船体幅部を付けた状態で前記の同じ水槽 (400m 水槽) で水槽試験を行った。使用したプロペラは M. S. NO. 0328(H) の場合と同じ M. P. NO. 2062 である。

抵抗試験および自航試験は第 3 章および第 4 章で述べた手順で実施され解析された。Fig. 4-1 に全抵抗係数  $C_T$  を、Fig. 4-3 に造波抵抗係数を示す。また水槽試験から求めた形状影響係数  $K$  を Table 4-1 に示す。H 船の M. S. NO. 0328 の満載状態の 0.45 よりも、0.41 と小さくなったが、Gross一渡辺の式等の値よりも依然として大きい。自航試験の結果を Fig. 4-7

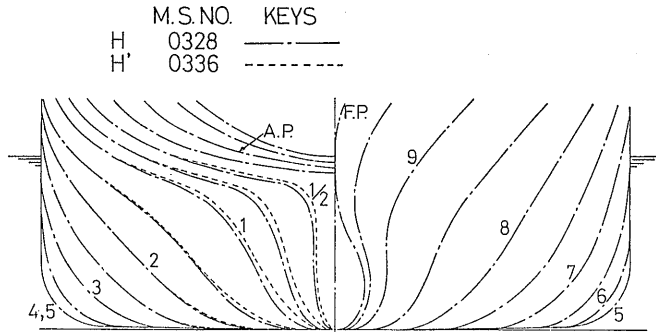


Fig. 5-11 Body Plan of M. S. NO. 0328 and 0336

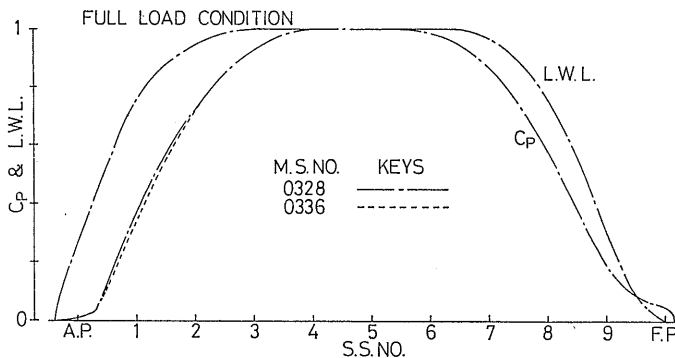


Fig. 5-12 Sectional Area Curve and Load Water Line Curve at Full Load Condition of M. S. NO. 0328 and 0336

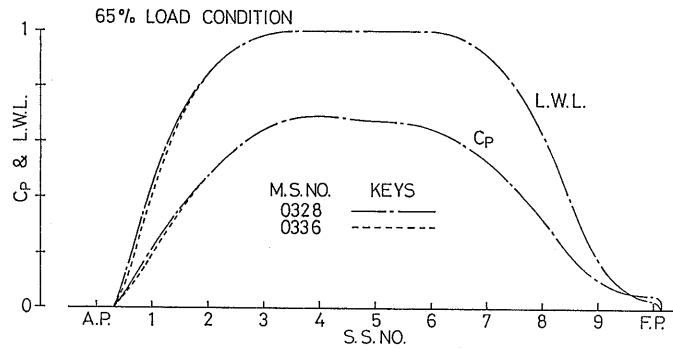


Fig. 5-13 Sectional Area Curve and Load Water Line Curve at 65% Load Condition of M. S. NO. 0328 and 0336

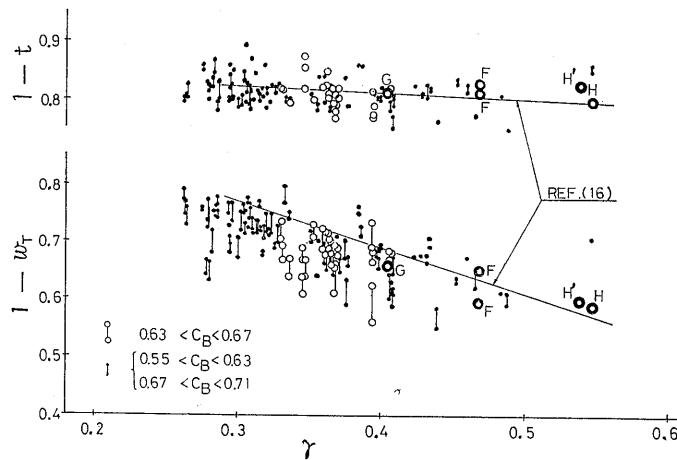


Fig. 5-14  $\gamma$  and  $1-t$ ,  $1-wT$

と4-8に示す。満載状態における  $1-t$  の値が M. S. NO. 0328(H) に比してやや大きくなった。

これらの結果より  $L_{pp}=150\text{m}$  の実船の場合の有効馬力曲線と伝達馬力曲線を Fig. 4-10 および 4-11 に示す。M. S. NO. 0328(H) に比して僅かながら、速度が出る事が判明した。

また、Fig. 4-13 に示すように伴流分布の計測も行った。プロペラ上方の部分の形状が変わったのが、伴流からも認識できる。

以上の結果より  $L_{pp}=150\text{m}$  の実船を想定した場合、M. S. NO. 0328(H) と M. S. NO. 0336(H') と比較して、僅かながらも後者の推定性能が良くなったことが確認できた。

#### 5-4 自航要素

自航試験結果の  $\eta_R$ ,  $1-t$  および  $1-wT$  について

は Fig. 4-9 に  $L/B$  を横軸にして示してあるので、ここでは笹島の船尾肥大度係数  $\gamma$  に対してまとめてみた。(Fig. 5-14)

$$\gamma = \frac{1}{\frac{L}{B} [1.3(1-C_B) - 0.031C_B]} \quad (7)$$

図には、 $C_B$  の値によって区分けした模型船の水槽試験結果も示してあるが、これらの結果と比較すると今回のシリーズは  $1-t$  がやや大きめであるのに対して、 $1-wT$  もまたやや大きく、よって船体効率  $(1-t)/(1-wT)$  は余り大きくなく、まだ改良する余地があると考えられる。なお、図中の短い縦の線は、水槽試験を行った際の速度範囲内のそれぞれ自航要素  $1-t$  と  $1-wT$  の変化分である。

また、図の2本の斜の線は、文献<sup>16)</sup>より引用した通

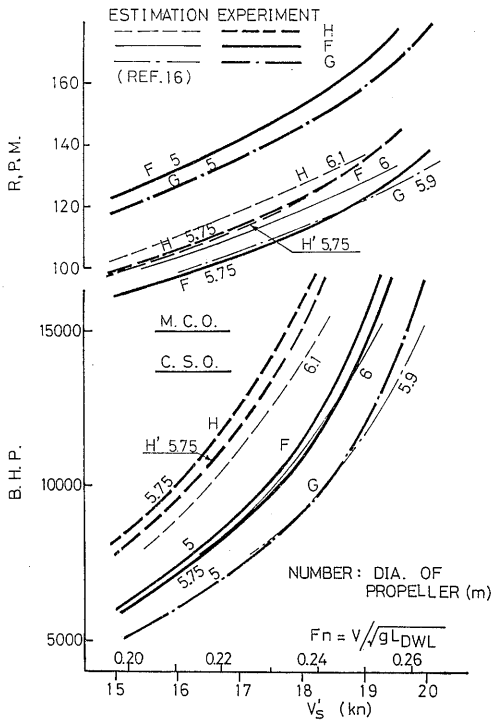


Fig.5-15 Comparison of B. H. P. and R. P. M.

常の船舶の実船の実績である。本来、模型船と実船間の自航要素の尺度影響があるにもかかわらず、この図から、本シリーズはこの図の実船の実績に近い傾向がある。

5.3 主機の制動馬力および回転数

水槽試験結果から得られた実船の伝達馬力DHPと伝達効率  $\eta_T=0.97$  と考えて計算した制御馬力BHPと回転数P P Mを Fig. 5-15 に示す。図にプロペラ直径を変えたF船型の場合の結果も示したが、制御馬力には大きな差はないが、しかし、回転数では大きく異なっている。この回転数の差はプロペラ直径の変化量の約3倍であり妥当であると思われる。

また、同図には文献<sup>16)</sup>に示された指定値の結果も示してある。この指定値は、Taylor の図表から剰余抵抗  $r_R$  を推定し、MAU 4翼の設計図表から最適効率のプロペラ直径とピッチを求めて、さらに船尾肥大度係数  $\gamma$  より自航要素  $1-t$  および  $1-w_T$  を通常船舶の実績から推定し、伝達効率  $\eta_T=0.97$  として得られたものである。Taylor 図表の船型と今回の浅喫水船の船型とは必ずしも一致していないが、FとG船型のBHPの実験値と推定値と良く一致している。 $L/B=$

4.5のH船型の場合は一致度が劣る。これは  $\nabla/(L/10)^3$  が7を越えているため Taylor の図表の場合、外挿法を採用することとなり、剰余抵抗の推定精度が落ちるためと考えられる。しかし、水槽試験で得られた形状影響係数Kが Gross一露辺の式や多賀野の式の指定値と比較して大きいことから実験値の方が大きくなることが予想される。今後、 $L/B$  の小さく、かつ、 $\nabla/(L/10)^3$  が7を越える船型について、剰余抵抗および形状影響係数をさらに検討していく必要がある。

なお、図中に船尾端部の形状を寄せさせた M.S. NO. 0336(H') の結果も示してあるが、形状影響係数が小さくなったことから、BHPも小さくなり、前述の Taylor の図表を利用した推定値に近づいている。よって、Taylor の図表を利用した推定値を基準に考えると、 $L/B=5.25$  の 'F' あるいは  $L/B=6$  の 'G' に比して、'F' と 'G' の船体後半部が相似である  $L/B=4.5$  の 'H' は形状影響係数による抵抗が大きくなったためか、BHPで大きめとなり、幅の影響が表われていると考えられる。その船型の 'H' 船尾端部を少し寄せさせるだけでも推進性能が向上することが明らかになった。

プロペラの回転数については、使用したプロペラが、代用プロペラであるので、細かな点までは検討することができないが、プロペラ直径およびプロペラ・ピッチ等について問題があるが、大略推定値と一致している。プロペラの直径を変えた 'F' の場合はBHPの変化は余り大きくないが、回転数はプロペラの直径の比の約3倍であった。

6. ま と め

$C_B=0.65$ ,  $B/d=3.4$  で  $L/B$  を 6.0, 5.25および 4.5とした3船型について、造波抵抗が小さくなる横截面積曲線を統計解析の方法で求め、それらの模型船による水槽試験を行った。水槽試験の結果より、 $L/B=6$ の船型の造波抵抗は統計解析の方法による推定値とほぼ一致しており、造波抵抗の小さい船型であることが確認できた。 $L/B=5.25$ および4.5の船型の造波抵抗は統計解析の方法による推定値よりもさらに小さく、優秀な船型だったことが示された。 $L/B$ の自航要素への影響を船尾肥大度係数  $\gamma$  で検討したところ、 $1-t$  は僅かな変化であるのに対し、 $1-w_T$  は直線的に大きく変化していることが判明した。

最後に、日本造船研究協会第171研究部会の部会長



の乾崇夫教授および日本造船技術センターの横尾幸一理事をはじめ、各委員の方々に御討論を戴いた。ここに厚くお礼を申し上げる。また、本報告に使用した水槽試験資料の一部分は船舶技術研究所の目白水槽時代のものであり、残りの大部分は日本造船技術センターの下で実施されたものであり、それらの資料の利用および収集に当っては、日本造船技術センターの並々ならぬ御協力を戴いた。ここに厚くお礼を申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) Doust, D. J. : Optimized Trawlers Forms, Trans. N.E.C. Inst. 1962/1963 p. 95—136, D32—D36
- 2) Shaher Sabit, A. : Regression Analysis of the Resistance Results of the B.S.R.A. Series, I.S.P. Vol. 18 Jan. 1971
- 3) Shaher Sabit, A. : An Analysis of the Series 60 Results Part I Regression Analysis of Forms and Resistance, I.S.P. Vol. 19 March 1972
- 4) Shaher Sabit, A. : An Analysis of the Series 60 Results Part II Regression Analysis of the Propulsions Factors, I.S.P. Vol. 19 Sept. 1972
- 5) Shaher Sabit, A. : The SSPA Cargo Liner Series Regression Analysis of the Resistance and Propulsive Coefficients, I.S.P. Vol. 23 June 1976
- 6) 土屋孟 : 漁船船型の有効馬力に関する統計解析, 日本造船学会論文集, 第132号, 昭和47年
- 7) 永井保他 : 高速艇に関する平水中水槽試験結果の統計解析, 日本造船学会論文集, 第137号, 昭和50年
- 8) Holtrop, J. : A Statistical Analysis of Performance Test Results, I.S.P. Vol. 24 No. 270 1977
- 9) Holtrop, J. and Mennen, G.G.J. : A Statistical Power Prediction Method, I.S.P. Vol. 25 Oct. 1978
- 10) Oortmerssen, G. van : A Power Prediction Method and its Application to Small Ships, I.S.P. Vol. 18 No. 207 1971
- 11) 多賀野寛 : 統計解析による実用船型の造波抵抗推定法に関する研究, 関西造船協会誌, 第147号, 昭和48年3月
- 12) 日本造船研究協会, 第171研究部会報告書, 研究資料, No. 299, 昭和53年3月
- 13) 日本造船研究協会, 第171研究部会報告書, 研究資料, No. 317, 昭和54年3月
- 14) 寺井芳男 : 幅広浅喫水船の船体前半部フレーム・ライン形状が抵抗に及ぼす影響の試験例, 日本造船技術センター技報, 第7号, 昭和54年10月
- 15) 寺井芳男 : 広幅浅喫水船の水槽試験, 日本造船技術センター技報, 第8号, 昭和55年11月
- 16) 日本造船研究協会, 第200研究部会第9分科会, 日本造船研究協会報告, 第95号, 昭和56年3月
- 17) Yamaguchi, M. : On Wave Making Resistance of the Model Series 60 '4210W' by Regression Analysis, Proc. of the Workshop on Ship Wave-Resistance Computations, DTNSRDC Vol. 2 NOV. 1979
- 18) 山口真裕他 : 広幅浅喫水船の水槽試験, 第34回船舶技術研究所研究発表会講演集, 昭和54年12月
- 19) Hogner, E. : Influence Lines for the Wave Resistance of Ships—I, P.R.S.A. Vol. 155 1938
- 20) 日本中型造船工業会 : カーフェリー建造マニュアル, 1975年3月