

## バルブ付肥大船型の推進性能に関する研究

—— 2軸船の尺度影響および船尾形状に関する研究 ——

横尾幸一\* 高橋 肇\* 川上善郎\*

Investigation into the Propulsive Performance of  
Super Tankers with Bulbous Bow—— Scale Effect and Aft Body Shapes of  
Twin-screw Ships ——

By

Koichi Yokoo, Hajime Takahashi  
and Yoshiro Kawakami

## Summary

This report deals with researches into the scale effect of resistance and self-propulsion factors, as well as the effect of the stern shape upon the propulsive performance for extremely full hull forms with the twin screws.

The main results obtained from the test are as follows;

1. Variation of form factors due to Froude number differs in tendencies for each of test conditions, and though the values of the wake and thrust deduction coefficients vary with Reynolds number, the values of the relative rotative efficiency are almost constant over the test range.
2. Remarkable differences are not found in the propulsive performance for such full aft bodies and aft frameline shapes.
3. Wake gain may be expected by designing the bossing properly or choosing a proper direction of propeller rotation. Accordingly, it may be needed to investigate precisely characteristics of the wake furthermore by 5-hole pitot tubes for instance.

## 1. 緒 言

昭和39年度に発足した巨大船研究委員会 (Full Tanker Committee) は巨大船の船型に関する研究を長期にわたって行なっているが、昭和42、43年度において船舶技術研究所が分担して、三鷹第二船舶試験水槽 (400 m 水槽) で試験を行なった2軸船に関する研究について報告する。

## 2. 尺度影響に関する研究

(M. S. 0054 &amp; 0055)

## 2.1. まえがき

タンカーが年を追って巨大化するにつれて、2軸船

\* 推進性能部

原稿受付 昭和45年12月23日

が当然考慮されてきたが、在来の資料に乏しく、ことに尺度影響についてはその資料が殆んどない。そこで、2隻の大型模型を製作し、それぞれの模型船を夏および冬に試験することにより4種のレイノルズ数における資料を得て、尺度影響の問題の解決をはかることにした。この研究は、400 m 水槽で最も十分かつ有効に行なえるものと期待される。なお、対応実船としては下記の要目をえらんだ。

主船体:

$$L_S = 360.00 \text{ m}, \quad B = 62.609 \text{ m}, \quad d = 20.46 \text{ m},$$

$$C_B = 0.84, \quad l_{CB} = -2.5\%$$

主 機:

MCR 20,000 PS  $\times$  90 RPM, Turbin 2 sets

## 2.2. 模型船および模型プロペラ

模型船は、長さ9 m および12 m の相似模型で、

Table 1 模型船の主要目

M.S.NO.	0054		0055	
$L_{PP}$ (m)	9.0000		12.0000	
$L_{DWL}$ (m)	9.1800		12.2400	
B (m)	1.5652		2.0870	
CONDITION	FULL LOAD	BALLAST	FULL LOAD	BALLAST
d (m)	0.5115	0.2940	0.6820	0.3920
TRIM (% OF $L_{PP}$ )	0	1.0	0	1.0
$\nabla$ ( $m^3$ )	6.0940	3.3523	14.4464	7.9442
S ( $m^2$ )	20.4129	16.2684	36.3162	28.9206
$C_B$	0.846	0.809	0.846	0.809
$C_P$	0.850	0.817	0.850	0.817
$C_M$	0.995	0.991	0.995	0.991
$f_{CB}$ (% OF $L_{PP}$ )	-2.55		-2.55	
B/d	3.060	5.324	3.060	5.324
$L_{PP}/B$	5.750			
$\nabla/L_{PP}^3 \times 10^3$	8.360	4.598	8.360	4.598
AREA (% OF $A_M$ )	12.7		12.7	
BULB LENGTH (% OF $L_{PP}$ )	1.6		1.6	
IMMERSION (% OF $d_{FULL}$ )	68.0		68.0	

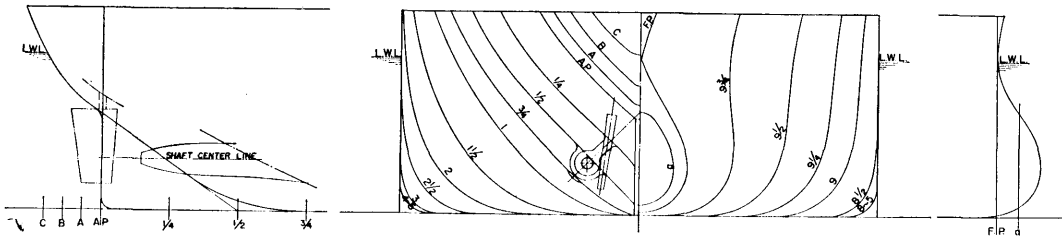


Fig. 1 正面線図および船首尾部形状

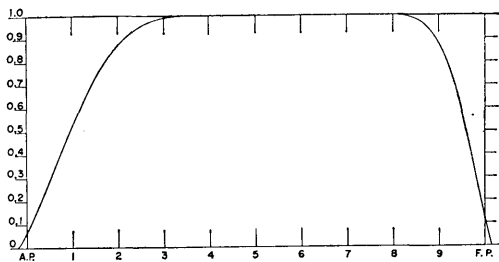


Fig. 2 横截面積曲線

Table 2 模型プロペラの要目

MODEL PROPELLER NO.	0015 <sup>†</sup>	0025 <sup>†</sup>
DIAMETER	0.1893	0.2523
BOSS RATIO	0.170	
PITCH RATIO (CONSTANT)	0.804	
EXPANDED AREA RATIO	0.443	
BLADE THICKNESS RATIO	0.053	
ANGLE OF RAKE	0°	
NUMBER OF BLADES	5	
DIRECTION OF TURNING	RIGHT & LEFT HANDED	
BLADE SECTION	MAU TYPE	

いずれも木製である。その要目を Table 1 に、正面線図および船首尾部輪郭を Fig. 1 に、横截面積曲線を Fig. 2 に示す。

模型プロペラは、実船の要目にあわせて設計、製作

された相似プロペラで、その要目を Table 2 に示す。

### 2.3. 試験状態

両模型船について、各々水温の異なる時をえらんで2回ずつ抵抗、自航試験を行ない、最後に楕型ピトー管を使用して伴流分布の計測を行なった。試験状態は、満載およびバラスト (55% 排水量, 1% 船尾トリム) の2状態である。摩擦抵抗の計算にはシェーンヘルの式を用い、実船に対する粗度修正量  $\Delta C_F$  としては  $-0.0003$  を採用した。乱流発生装置としては高さ 1 mm の梯形スタッドを S. S. No. 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> およびバルブ中心より前方へ、バルブ中心を通り模型船の基線に平行な線よりはかって 60° の位置に植えた。

### 2.4. 試験結果および考察

抵抗試験結果に、Blockage Effect および流速計の影響による修正を施して求めた全抵抗係数  $C_T$  を、Hughes の basic line より求めた  $C_F$  の横軸上に置点したものを Fig. 3 に示す。この図のなかで、M. S. 0055 のバラスト状態の夏期実験結果は、模型船体に異常があったと思われるので (バルブの下部に亀裂が入っていることが実験後見出された)、線から外してある。乱流発生装置の固有抵抗は、このような大型の

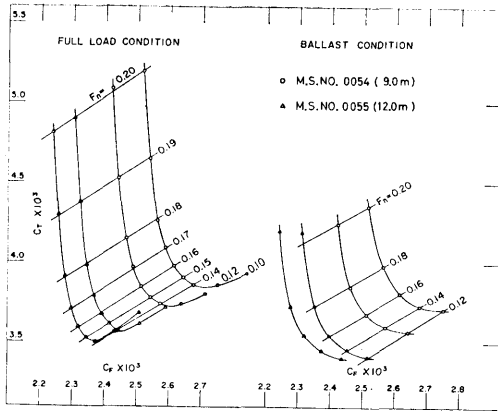


Fig. 3  $C_T \sim C_F$

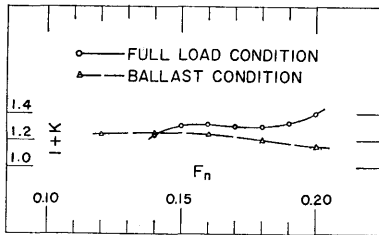


Fig. 4  $1+K$

模型では無視できるので、これに対する修正は考慮していない。

Fig. 3 の等フルード数の点を結んだ線の傾斜から求めた  $1+K$  を Fig. 4 に示す。 $F_n$  に対する  $1+K$  の傾向が、満載とバラストとで異なるが、これは航走中のトリム変化がその一因となっているものと思われる。なお、低速抵抗より求めた  $K$  の値は、各模型、各状態により多少異なるが、平均して約 1.4 位である。

$R_n (= vL/\nu)$  の横軸上に置点した自航要素を Fig. 5, 6 に示す。自航要素については、 $\eta_R$  には  $R_n$  の変化による影響は殆んどないが、 $1-wr$  および  $1-t$  に関しては、ある程度その影響が見受けられる。ただ、バラスト状態の  $1-t$  については原因がよくわからないが、抵抗および自航試験時の流れの状況が、各模型とも同じようには再現されなかったものと思われる。したがって、見掛け上  $R_n$  の変化に対して、かなり影響があらわれたのではないと思われる。

プロペラ単独試験は、2組の相似プロペラ（1組とは右回り、左回り用の2ヶよりなる）について、回転数を変化させて行なった。 $R_n (= nD^2/\nu)$  の横軸上に置点したプロペラ単独試験結果のクロス・カーブを

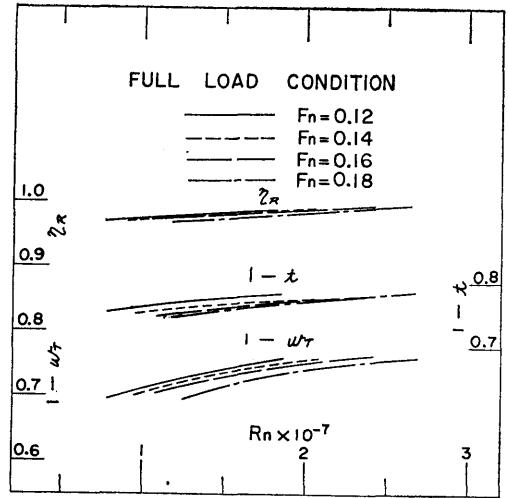


Fig. 5 自航要素と  $R_n$  の関係

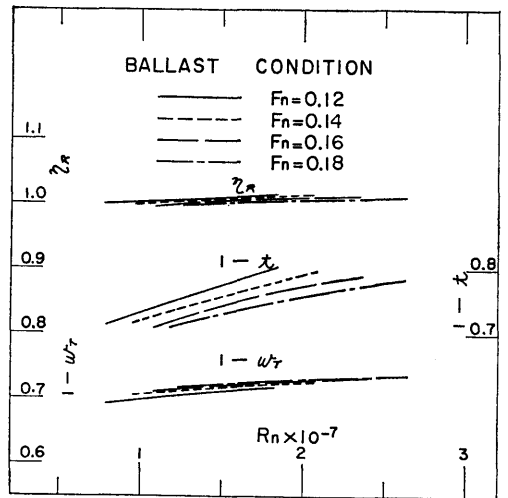


Fig. 6 自航要素と  $R_n$  の関係

Fig. 7 に示す。この結果をみると、各組ごとに Thrust, Torque とも別の線になっている（大きい模型プロペラの方が、試験回転数の全範囲にわたり、低い  $K_T$ ,  $K_Q$  を示す）が、効率  $\eta_0$  は等しい。各模型プロペラについて、直径、ピッチの検査は通常の方法で行なったが、すべて正しく製作されていた。

伴流分布図を2隻重ねて Fig. 8 に、平均伴流係数を Fig. 9 に示す。9 m, 12 m 模型とも伴流分布図は比較的良好に似ているが、伴流の集中域がボッシング取り付け部の真後ろになくて少しずれていることがわかる。さらに5孔ピトー管を使用して詳細な研究を行なう必要がある。

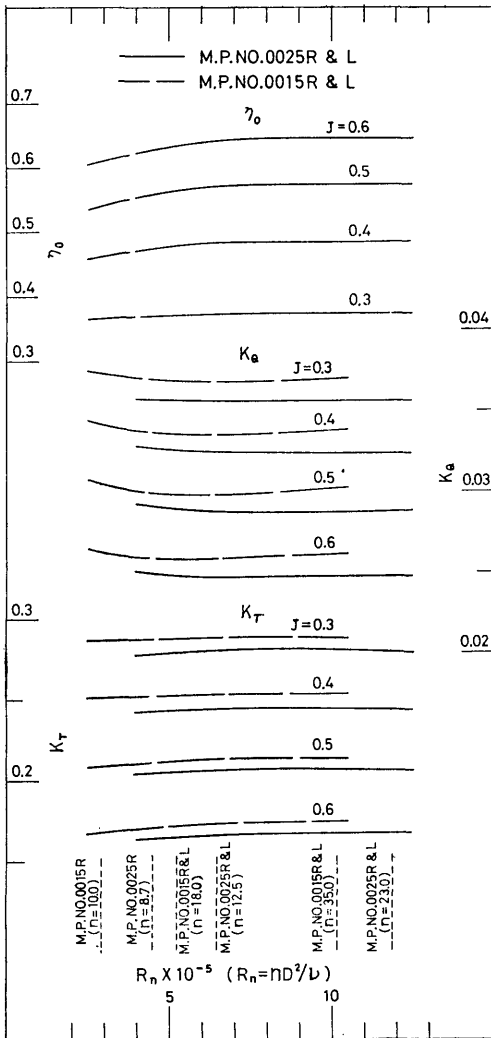


Fig. 7 プロペラ単独性能と  $R_n$  の関係

### 3. 船尾肥大度の影響

(M. S. 0079, 0054, 0080)

#### 3.1. まえがき

肥大船の船尾形状や肥大度に関して、1軸船の場合には種々の研究報告がなされているが、2軸船対象の研究調査は少ない。

2軸船型と1軸船型とを比較した場合、優れた自航要素をもたせうる船尾肥大限界は、2軸船型の方が大きい可能性があると考えられる。

このような背景より、ある程度定量的にその特性を把握すべく、研究が計画された。

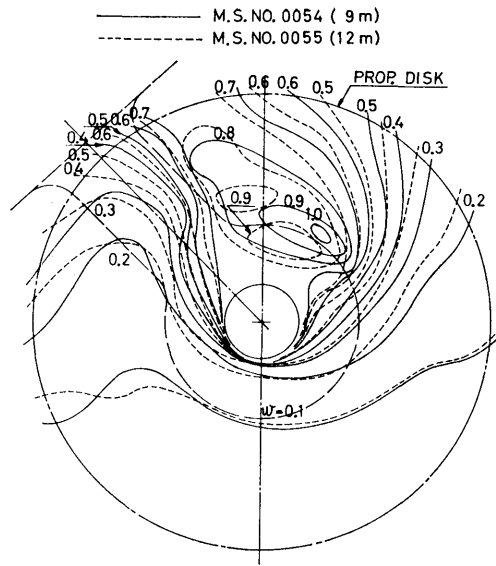


Fig. 8 伴流分布図

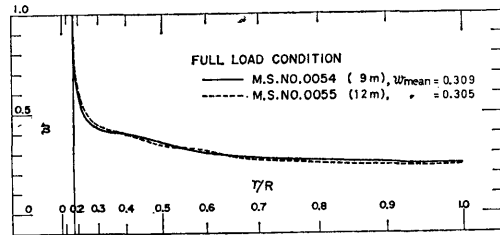


Fig. 9 平均伴流係数

#### 3.2. 模型船および模型プロペラ

原型として前章の尺度影響の研究に使用した M. S. 0054 を採用し、船首部は原型そのままとし、船尾肥大度 ( $CPA$ ) として原型をはさんで 2 種、すなわち M. S. 0079 で約 0.78、原型で約 0.80、M. S. 0080 で約 0.81 を選定し、いわゆる 1- $CP$  法でプリズマ曲線を修正、かつそれにしたがってフレームラインを移動させて本船型を作成した。

プロペラ位置については、前後位置および軸中心高さを原型と全く同じとし、プロペラと船体との間隙を原型と同じ値 (プロペラ直径の約 30%) を保持するように、幅方向に軸心を平行移動させた。

Table 3 模型船の主要目

$L_{pp}$ (m)	90000														
$L_{owl}$ (m)	91800														
B (m)	1.5652														
CONDITION	FULL LOAD							BALLAST							
M.S.NO.	0054	0079	0080	0081	0082	0083	0084	0054	0079	0080	0081	0082	0083	0084	
d (m)	0.5115							0.2940	0.2950	0.2930	1.0				0.2940
TRIM (% OF $L_{pp}$ )	0														
V ( $m^3$ )	6.1035	6.0422	6.1642	6.1035	6.0992	6.1047	6.1047	3.3618	3.3278	3.3942	3.3618	3.3272	3.3465	3.3465	
S ( $m^2$ )	20.5751	20.5439	20.7834	20.5741	20.6447	20.8369	20.8369	16.4306	16.3790	16.5983	16.4296	16.5551	16.5876	16.5876	
$C_a$	0.847	0.839	0.855	0.847	0.846	0.847	0.847	0.812	0.801	0.822	0.812	0.814	0.808	0.808	
$C_p$	0.852	0.843	0.860	0.852	0.851	0.852	0.852	0.820	0.808	0.830	0.820	0.822	0.816	0.816	
$C_w$	0.9945							0.9905							
$\bar{z}_{ca}$ (% OF $L_{pp}$ )	-2.55	-2.93	-2.17	-2.55	-2.54	-2.52	-2.52	5.324	5.306	5.342	5.324	5.324	5.324	5.324	
B/d	3.060							5.324	5.306	5.342	5.324				
$L_{pp}/B$	5.750							5.750							
$V/L_{pp}^3 \times 10^3$	8.372	8.288	8.456	8.372	8.367	8.374	8.374	4.612	4.565	4.656	4.612	4.626	4.591	4.591	
AREA (% OF $A_w$ )	12.7														
BULB LENGTH (% OF $L_{pp}$ )	1.6														
IMMERSION (% OF $d_{FULL}$ )	68.0														

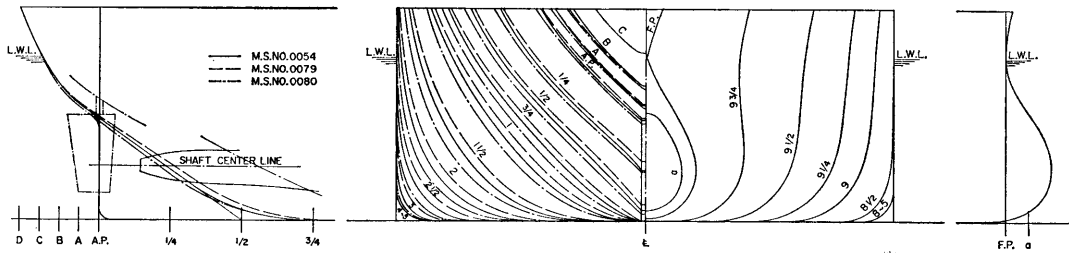


Fig. 10 正面線図および船首尾部形状

舵位置は原型の舵とプロペラとの位置関係を両船型に対して、そのまま維持するように設定された。

模型船の主要目等を Table 3 に、正面線図および船首尾部形状を Fig. 10 に、横断面積曲線を Fig. 11 に示す。

模型プロペラは、前章尺度影響の研究に使用した M. P. 0015 R, L である。

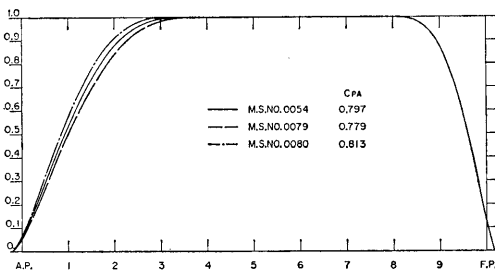


Fig. 11 横断面積曲線

3.3. 試験状態

試験は満載、バラスト (55% 排水量, 1% 船尾トリム) の2状態において、抵抗、自航試験を行なった。摩擦抵抗の計算その他については 2.3 に述べられているの同一である。

3.4. 試験結果および考察

$r_R$  および自航要素を Fig. 12 に示す。

抵抗試験結果をみると、満載、バラストの両状態とも  $C_{PA}$  が増加するにしたがって  $r_R$  も僅かずつ増えているが、バラスト状態の高速のところでは M. S. 0054 ( $C_{PA} = 0.797$ ) と M. S. 0079 (0.779) の  $r_R$  は殆んど同一である。また両状態とも低～中速の範囲では、M. S. 0054 と M. S. 0079 との  $r_R$  のちがいのほうが、M. S. 0054 と M. S. 0080 との  $r_R$  のちがいよりも大きい。

自航試験結果より求めた自航要素では、 $1 - w_T$ ,  $\eta_R$  には大差ないが、 $1 - t$  は  $C_{PA}$  の増加にしたがって低い値を示す。原型のバラスト状態の中速

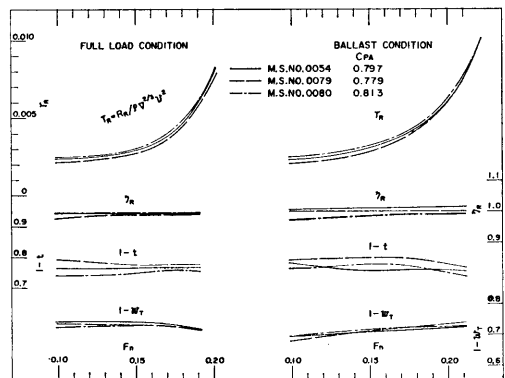


Fig. 12  $r_R$  および自航要素

( $F_n = 0.15$ ) 付近の  $1-t$  の値は幾分低い。

4. 船尾肋骨線形状の影響

(M. S. 0083, 0054, 0084)

4.1. まえがき

この研究は、2軸船型の船尾肋骨線形状をU型、中間型、V型と変化させて推進性能が最良となる肋骨線形状をみいだすことを意図して計画された。

4.2. 模型船および模型プロペラ

母型は、前と同様 M. S. 0054 であり、母型を中心として、船尾フレームライン形状をU型およびV型に変化させてある。船尾のカット・アップはU型のものは母型より小さく、V型では大きくなっている。プロペラ中心位置の高さは、プロペラの tip clearance が一定になるようにしてある。ボッシングの船体から突出する大きさは3隻とも同程度となっている。舵は3隻とも同一形状であるが、プロペラ位置の高低にしたがって上下に移動している。使用したプロペラは前と同じである。模型船の主要目等を Table 3 に、後半部形状を Fig. 13 に示す。

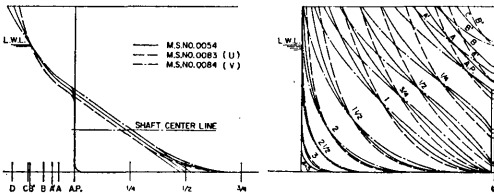


Fig. 13 後半部形状

4.3. 試験状態

試験状態等は 3.3. に同じである。

4.4. 試験結果および考察

$r_R$  および自航要素を Fig. 14 に示す。

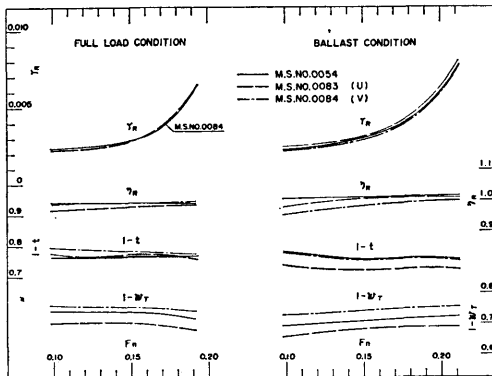


Fig. 14  $r_R$  および自航要素

抵抗試験結果をみると、満載状態では大きな差はないが、バラスト状態ではU型が悪く、原型とV型はあまり変わらない。

自航要素では、満載状態で  $\eta_R$  は3隻とも殆んど変わらないが、 $w_T$  はU型が大きな値を示し、原型とV型は殆んど変わらない。バラスト状態では、 $w_T$  はU型、原型、V型の順に小さくなっているし、 $1-t$  は原型とV型は変わらないがU型が小さい。 $\eta_R$  はV型のみやや小さい値を示す。

総合的に考えて、このようなフレームライン形状の変化では、あまり著しい差異は認められないが、どちらかといえば、推進性能上、原型かまたはU型が有利であるように思われる。

5. ボッシング形状の影響

(M. S. 0054, 0081, 0082)

5.1. まえがき

従来の2軸船型の試験は、同心円、軸対称型のボッシング形状について行なわれているが、肥大船型の場合は特に船尾流れの回転方向の影響もあり、ボッシング形状を変えることによりその性能にかなり影響するのではないかと考えられる。しかし、ボッシング形状に関する資料として、肥大船型に関するものはあまり見あたらない。

このような事情により下記のようなボッシング形状に関するシリーズ試験を計画した。

5.2. 模型船および模型プロペラ

模型船としては、原型 M. S. 0054 を使用し、そのボッシング形状を基本として、軸中心を一定に保たせながら、ブラケット部(船体との取り付け部)を外側上方によせて M. S. 0081 を、内側下方によせて M. S. 0082 を作り試験を行なった。ボッシング形状を Fig. 15 (a), (b), (c) に示す。舵およびプロペラについては原型と同じである。

5.3. 試験状態

前と同じく、満載、バラストの2状態において、抵抗、自航試験を行ない、また満載状態においては楕円ピトー管を使用して伴流分布を計測した。

5.4. 試験結果および考察

$r_R$  および自航要素を Fig. 16 に示す。

抵抗試験結果では、3者のちがいは僅かであるが、自航試験結果をみると、ブラケット部を外側にもってきた M. S. 0081 は  $w_T$  および  $1-t$  の値が小さく、明らかに不利であった。M. S. 0082 は推進性能上、原型と大差ないようである。ただし以上の自航試験の場

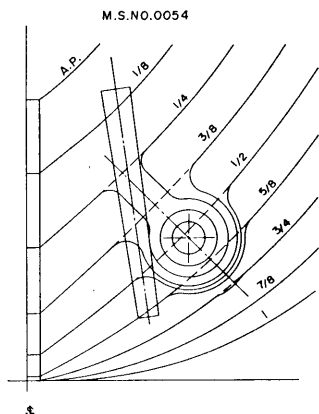


Fig. 15 (a) ボッシング形状

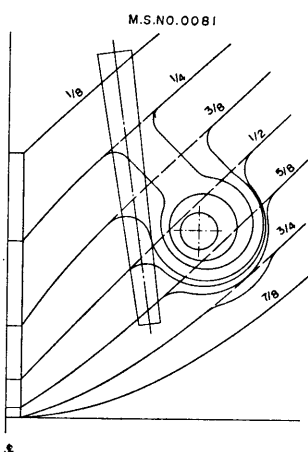


Fig. 15 (b) ボッシング形状

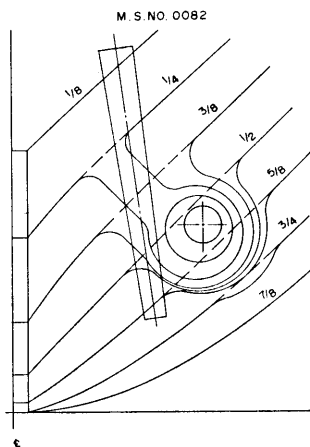


Fig. 15 (c) ボッシング形状

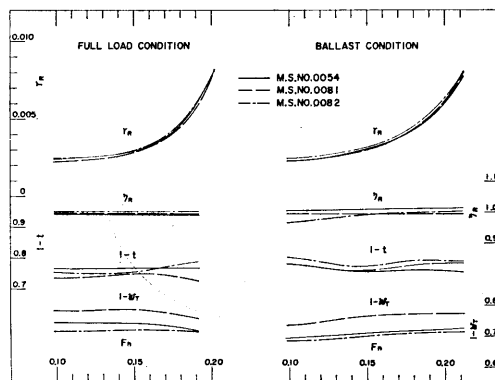


Fig. 16  $r_R$  および自航要素

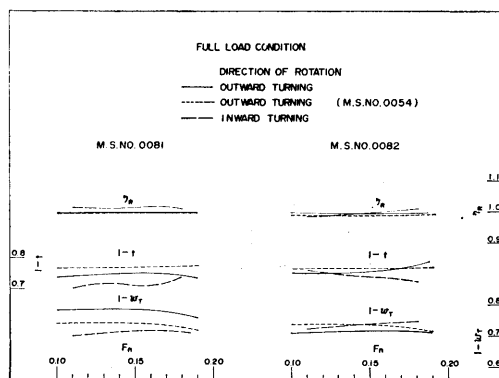


Fig. 17 自航要素(プロペラの回転方向を変えた場合)

合いずれもプロペラの回転方向は外回りである。

M. S. 0081 および M. S. 0082 については、プロペラの回転方向を内回りにして、満載状態のみ自航試験を行なった。外回り、内回りの自航要素の比較を Fig. 17 に示す。原型 M. S. 0054 については外回りのみしか自航試験が行なわれなかったが、その結果をも併せ図示した。これを見ると、M. S. 0081 の場合はプロペラの回転方向を外回りから内回りに変えることにより、 $w_T$  は、 $F_n = 0.14$  付近で約 10% 高い値を示し、 $1-t$  は約 4% 低い値を示した。 $\eta_R$  のちがいは僅かであった。結果としては、推進性能上では内回りの方が有利であるように思われる。しかし、原型とくらべるとまだ劣っている。これに反し、M. S. 0082 の場合は、プロペラの回転方向を外回りから内回りに変えた結果、 $w_T$  としては  $F_n = 0.14$  付近で 2~3% 低い値を示し、 $1-t$  および  $\eta_R$  は殆んど変わっていないので、少し不利になったようである。

ボッシング形状のちがいが、プロペラ回転方向の変化に伴って生じた自航要素の差の原因となっているこ

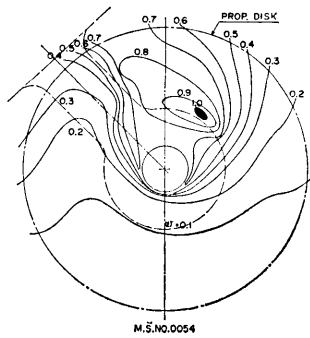


Fig. 18 (a) 伴流分布図

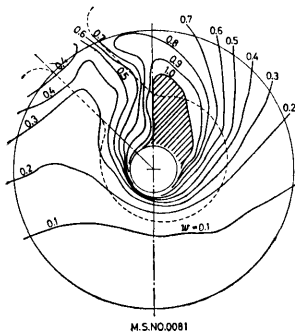


Fig. 18 (b) 伴流分布図

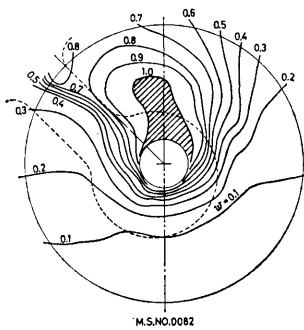


Fig. 18 (c) 伴流分布図

とは明らかであると思われるので、例えば流線観測とか5孔ピトー管を使用して伴流を調査する必要がある。

楕型ピトー管を使用して測定した、満載状態、前進時 ( $F_n = 0.14$ ) における伴流分布を Fig. 18 (a), (b), (c) に示す。

$C_B = 0.84$  前後の2軸船においては、ブラケット部の後方よりもむしろ上方に伴流の集中領域がみられる。このことはボッシングが船底より上方に向う流れをせき止める作用をしていることを考慮すれば当然のことと言えるかもしれない。また、ボッシングのとりつけ方により、ある程度伴流分布の差異が生じている。

$F_n = 0.14$  における  $w_N$  と  $w_T$  の比較を以下に示す。(プロペラ回転方向が外回りの場合)

M. S. No.	0054	0081	0082
$w_N$	0.309	0.322	0.365
$w_T$	0.260	0.217	0.283

1軸船の場合には、伴流分布の観点から船尾形状を変更することは実際的にはかなり困難と思われるが、2軸船の場合には、ボッシング形状および取り付け方を変化させることにより伴流分布をかなり変化させ得ると思われる。すなわち、伴流分布よりみた2軸船のボッシング形状に関する研究(特にキャビテーション、起振力の問題を含めて)が必要になってくるであろう。また、5孔ピトー管を用いて円周方向の流速をも計測すること等によりプロペラ回転方向についての調査、研究も必要であろう。

## 6. 結 言

この研究については、F. T. C. 各委員の方々その他関係各位の絶大な御協力をいただいた。

ここに深く感謝の意を表します。