

(昭和 36 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

Waveless Stern の 研究 (その 3)

正員 熊野道雄*

A Study on the Waveless Stern (Part III)

By Michio Kumano, Member

Summary

In the preceding two papers on the Waveless Stern (Part I, Part II), the author showed the results of resistance tests together with their theoretical analysis.

In this third paper, he deals with the propulsion characteristics of the Waveless Stern.

Prior to the tests, the optimum pitch distribution of the wake-adapted propeller was determined as approximately linear according to the usual circulation theory in reference to the wake survey results by the blade wheel method. The tests were carried out with the UNKEN A₄-40 Standard Propeller with constant pitch distribution ($P/D=1.0$) as the said wake adapted propeller.

In general, all of the propulsion coefficients take favourable turn with the waveless stern. Summary of the results is given in Figs. 4 and 5.

The author also presents the contours and the profile sections for the wave patterns of the stern waves measured and analyzed by the stereophotogrammetry. They prove to be most valuable for clarifying the mechanism of the "waveless" status around the stern.

1 緒 言

著者は第1報¹⁾、第2報²⁾において Waveless Stern の抵抗試験の結果、および Stern Bulb による抵抗減少量について実験と理論とが良好な一致を示すことなどを報告した。そして船尾においては、舶性影響のため現象が多少複雑となるが、結論としては波消しの理論が船首と同様に成立することを確かめた。

今回は "Waveless" の考え方から定められた船尾バルブが他面白航要素の方にどのような特性を示すものであるかを調べてみた。従来の船尾バルブに関する文献³⁾⁴⁾⁵⁾によれば船尾部の球状化はいずれも自航要素（特に伴流係数）を改善しているものの、これらは反面において必ず抵抗増という demerits をもつている。これに対してすでに抵抗減少に成功した Waveless Stern が仮にそのままで同時に自航要素をも改善するものであれば、船尾バルブの効用はさらに倍加するわけである。

なお本論文の後半では "波消し" の理論を抵抗の面だけからではなく、直接に船尾波の造波干渉の機構を通して調べる目的で、船尾波のステレオ写真測量を行なつたのでその結果についても報告する。なお本論文の実験はすべて理論船型 C-201 を主船体として行なつたものである。

2 伴流計測および伴流推進器

供試船型 C-201 F 2 (船尾バルブなし)、C-201 F 2×A 4 (船尾バルブ付き) について自航試験を行うに先立ち、供試推進器の選択が重要な問題となる。すなわち船尾バルブによって半径方向の伴流分布はかなり変化するとみられる。そこで実験はそれぞれの伴流分布状態に適合したピッチ分布の推進器を使用する必要がある。伴流計測が自航試験の予備的実験として必要な理由である。

2・1 伴 流 計 測

伴流計測方式としては半径方向のみならず円周方向の伴流分布をも同時に測定できる点で、ピトー管または五叉管による測定が望ましかつたが、多大の時間と労力を必要とするので翼車型伴流計（東大水槽備品）を使用し

原稿受付 昭和 36 年 6 月 20 日

* 香川大学学芸学部

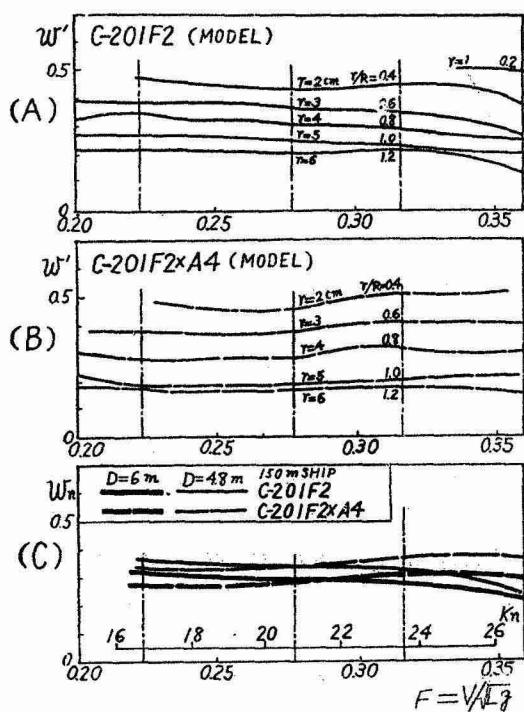


Fig. 1

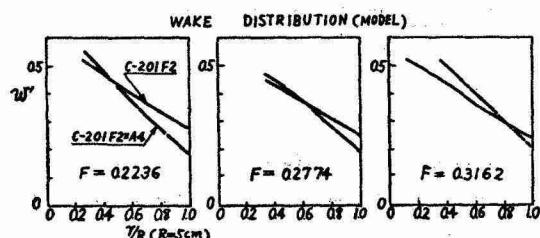


Fig. 2

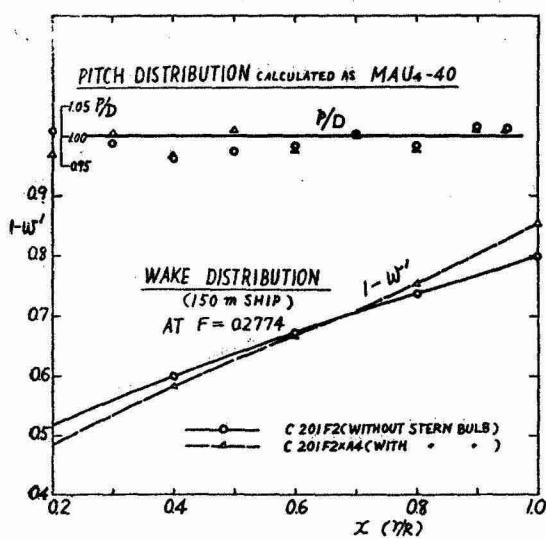


Fig. 3

た。翼車は翼の幅の中央までの半径 r が 1cm から 1cm おきに 6cm までの 6 枚を使用した。この程度の翼車半径であれば慣性によつて流速の過大にでる傾向は補正の必要がない。各翼車ごとに同心円環素上の相対流速 V_a を翼車の較正曲線（回転数一速度）から求め、これと模型速度 V とから平均伴流係数 w'^* ($= (V - V_a)/V$) を計算する。第1図 A, B はそれぞれ C-201 F 2 および C-201 F 2 × A 4 の模型の w' で各翼車半径ごとに F 数 (= 0.20 ~ 0.36) をベースに示してある。普通商船の常用速度範囲では伴流係数は F 数の影響をほとんど受けないが、供試 cos 船型においても $F = 0.20 \sim 0.36$ の間で顕著な変化はないようである。しかし船尾バルブなしは高速になるほど w' は低下の傾向を示すが、船尾バルブ付きはその逆に幾分上昇気味である。そこで第1図 A, B の w' をもとに、まず実船の伴流率 w_s' に換算し、さらにこれを推進器円盤について平均した、いわゆる公称伴流係数 w_n を求めたのが第1図 C である。 w' の積分は文献^⑥に従い、運動量積分法によ

$$w_n = \frac{\int_{D_b/2}^{D/2} w_s'(1-w_s')rdr}{\int_{D_b/2}^{D/2} (1-w_s')rdr} \quad (1) \text{ ただし } \frac{1-w_s'}{1-w'} = 1.06$$

となる。なおこの場合の実船の寸法は $L = 150$ m を仮定し、推進器直径としては実船で $D = 6$ m と $D = 4.8$ m の 2 種（模型では 10cm, 8cm）、いずれも $D_b = 1.2$ m と仮定した。速度ベースには F 数のほかに $L = 150$ m に対する速力をノットで記入してあるが、これは縦軸の値が 150m 船に換算されていることを意味する。

さきの第1図 A, B において w' 曲線相互間の間隔に注意すると、船尾バルブ付きのほうが若干広くなっていることがわかる。そこで 3 ツの速度を選び（第1図 1 点鎖線）横軸に翼車半径（推進器半径 $R = 5$ cm との比 r/R で表わす）をとり w' の半径方向分布を示したのが第2図である。船尾バルブ付きの w' 分布の勾配が船尾バルブなしの場合に比し急傾斜であることがよくわかる。

2.2 伴流推進器

第2図により伴流推進器のピッチ分布の計算の出発点となる伴流の半径方向分布がえられた。今回の実験で推進器諸要目のうち問題となるのはピッチ分布のみであるから、運研型 MAU₄-40 を基本型として回転数、推力などを仮定して計算したのが第3図である。

0.7R におけるピッチ比を 1.0 とし、計算の前半（誘導ピッチ角 β_l の算出まで）、後半をそれぞれ文献^{⑦⑧}の方法に従つて求めた。第3図中に参考として設計速力** $F =$

* ' は円環素上の値であることを示す。

** 船尾バルブの設計速力は C-201 で $F = 0.28$ であるが、ピッチ計算上 $K_0 L$ の round number であることが便利なので、 $F = 0.28$ にもつとも近い $K_0 L = 13$ 、 $F = 0.277$ を選んだ。

0.277における $1-w_s'$ 分布を示してあるが、船尾バルブの有無によるこの程度の $1-w_s'$ 勾配の差はピッチ比 P/D の分布にすればほとんど差がなくなり、ともにピッチ比1.0の一定ピッチと考えてよいことがわかる。

従来実験で使用していた運研型A₄-40(ピッチ比1.0、一定ピッチ)直径10cmは基本型MAU₄-40にくらべ翼幅が大きく翼厚比が小さいが、両者のピッチに対する影響がcancelする。そこで新たに製作するまでもなく前記A₄-40はC-201F2およびC-201F2×A4に対し伴流推進器として使用できることがわかる。

3 自航試験

第1表は供試船型とその150m船および供試推進器の要目である。模型推進器は直径10cmのほかに参考程度の意味で同形の直径8cmを使用した。もちろんこれは厳密な意味で伴流推進器ではない。模型のガイドは抵抗試験のときと同じく平行ガイドを用い、その前方において万能動力計(Universal Dynamometer)のウエイトにより摩擦修正を加えた。実験の解析には運研発表の直径25cmの推進器単独試験成績を使用し、Thrust Identity法によつた。

3.1 Waveless Sternの自航要素

第4図は直径6m推進器(模型換算10cm)の推力減少率 t 、伴流係数 w 、推進器効率比 η_r 、船殻効率 η_h 、有効馬力EHP、伝達馬力DHPおよび回転数Nである。 w に対しては(1)式ただし書のscale effectの修正を加えてあるが、他の自航要素についてはscale effectがないものとして取り扱っている。第4図について個々の自航要素を調べると次のとくとなる。

(1) 伴流係数 w : 低速においては船尾バルブ付きのほうが w が小さいが、高速になるにつれて大きくなり、 $F=0.30$ において w の値約0.20で船尾バルブなしと交叉する。第1図Cの w_n と傾向が同じで当然といえよう。在来の船型では $F>0.30$ の高速で w 低下の傾向がある。船尾バルブ付きはその傾向が弱められ、 $F=0.32$ 付近で最高の値0.25となつている。

(2) 推力減少率 t : $F=0.20\sim0.36$ の全実験領域において船尾バルブ付きの t が小さく、 $F<0.25$ ではもとの半分以下の値、 $F>0.30$ ではほぼひとしいが、最高で0.20である。船尾バルブの形状から明らかのように、推進器と船体と離れていること、および伴流の円周方向分布の一様性がよくなること(推定)から t の小さくなるのが予想されるが、実験はこの予想を裏付けている。一般に t と w の関係は2,3の実験式が示すように簡単な比例関係にあるといわれているが、この実験では一般的傾向として w が大きく t が小さくなつている。これは船尾バルブによつて伴流の円周方向分布の一様性がよくなり、その不均一性に基づく摩擦推力減少

Table 1

	L_p (cm)	L_o (m)	$\nabla(\times 10^3)$	$A^*(t)$	S (m ²)
C-201F2	MODEL	2.50	2.71	97030	1336
	SHIP	150.0	162.6	21480	4810
C-201F2×A4	MODEL	2.50	2.91	98919	1400
	SHIP	150.0	174.6	21900	5040

* IN SEA WATER ($\epsilon=1.025$), $A_C=3\times 10^{-4}$, $\frac{w}{w_m}=1.06$

	D	P/D	B.R.	EAR	M.W.R	BTR	RAKE
PROPELLER	MODEL	10cm 8cm	1.0	0.25	0.40	0.242	0.045
	SHIP	6m 4.8m	1.0	0.25	0.40	0.242	0.045

UNKEN A₄-40

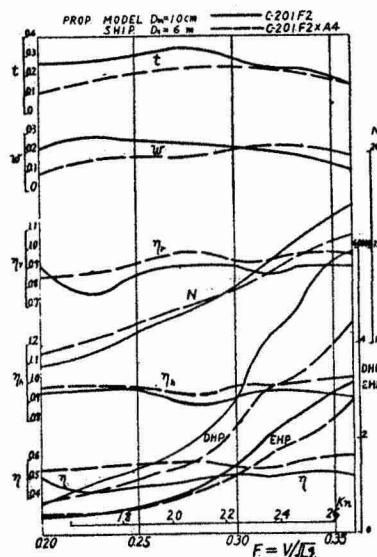


Fig. 4

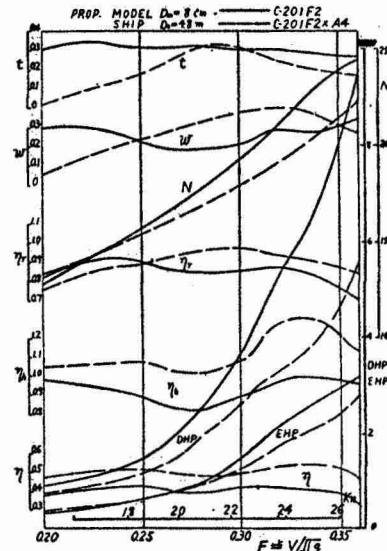


Fig. 5

率 t_f が大幅に減少したためと思われる。

(3) 推進器効率比 η_r : これも船尾バルブ付きが 0.05~0.1 程度大きく、1.0 付近の値になっている。船尾バルブの有無にかかわらず wake adapted の状態なのであるから、伴流の円周方向分布の一様性のよい船尾バルブ付きの η_r の大きいことは当然といえよう。

(4) 船殻効率 η_h , 推進効率 η : (1) (2) および (3) から船尾バルブ付きが大きい。 η_h は 0.05 程増して約 1.0, η は 0.05 増して 0.6 である。

(5) 伝達馬力 DHP , 回転数 N : DHP は全速度領域において、 N は $F > 0.30$ の高速領域において船尾バルブ付きのほうが小さい。設計速力 $F = 0.28$ (20.9 kn) において DHP が船尾バルブなしの 20500 HP が 15500 HP に、約 25% 低下する。 N はともに 120 rpm 前後である。

以上述べた結果は予想以上の好成績であるが、次に直径 4.8 m (模型換算 8 cm) による自航試験の結果を第 5 図に示す。前述のすべての項目について船尾バルブの有無による差の拡大しているような感じを受ける。推進器が小さくなれば自航試験の被測定要素のうち、もつとも精度の低いトルクの値が小さくなる。また模型推進器の scale effect もますます問題となつてくるので、第 5 図よりも第 4 図の方の信頼度が高いのはもちろんである。

3・2 他資料との比較について

船尾バルブの付加によつて η_h , η_r , η などが向上していることは前述の通りであるが、このほかにそれらの値の絶対値が 6 m 以上の大型模型の自航試験成績に比して小さいという問題があるので、この点について調べてみる。これはおそらく (1) cos 船型の船尾形状が在来の船型のそれと著しく異なること、(2) 舵の有無の影響、および (3) 供試推進器の scale effect の 3 つに関係があるようと思われる。そこで念のため (3) のみを調べるために第 4 図を供試推進器自身の単独試験成績によつて解析し直してみた。その結果は w が一様に 0.1 程度大きくなつただけで、 η_r の値には変化がなく、従つてまた η も再解析の前とくらべて大差のない値に止まつた。従つて上掲の 3 条件のうち、(1) と (2) が主なる理由となつているようであるが、これは実用化の場合に当然改善されてくる余地が十分あるものと考えられる。

4 船尾波のステレオ写真測量

自航試験に引き続き、模型 C-201 について船首波⁸⁾と同様、船尾波についても数種類の速度において C-201 F 2 (船尾バルブなし) と C-201 F 2 × A 4 (船尾バルブ付き) との船尾波系のステレオ写真測量を行なつた。その結果を以下に要約する。

4・1 船尾実測波形図

第 6 図は $F = 0.267$ における実測波形等高図で、ステレオ写真を図化したものである。右が船尾バルブなし、左が船尾バルブ付きである。等高線の間隔は 2.5 mm または 5 mm で、図中に scale を記入してある。波の発生点から十分離れた位置の波模様については Hogner の研究⁹⁾があるが、そのいわゆる Hogner 波形を第 6 図に重ねてみたが前後位置を加減してみても両者を一致させることは不可能であった。そこで Hogner 波形の代りに船首実測波形⁸⁾を重ねてみると両者の wave ridge (and trough) は良好な一致を示すことがわかつた。第 6 図および後出の第 7 図にはそれぞれの速度における実測船首波の wave ridge を実線で、wave trough を破線で記入してある。第 6 図の速度 $F = 0.267$ では船尾バルブの付加によつて造波抵抗は半分に減つている。しかし同図の比較でも明らかのように、船尾バルブ付きの diverging wave crest と思われる左右玄 1 組の wave ridge はむしろ船尾バルブなし(右)のそれよりも顕著である。ところが高速の $F = 0.316$ では船尾バルブ付きの crest line の波高は明らかに低くなつていて、造波干渉による縦波の打ち消しの状況を確かめることができる。これが第 7 図で第 1 報¹⁰⁾の第 12 図を図化したものである。この速度 $F = 0.316$ においては造波抵抗は約 1/2 強に減少している。

4・2 実測波形図の鉛直断面

つぎに第 6, 7 図を、図に示す放射線上の鉛直断面で截り、波高を調べる。第 8 図 A は第 6 図の $\Theta' = 0^\circ$ の鉛直断面の波高(船首波の船側波形に相当する)で、 K_{0x} の原点はともに AP である。同図にはかつて乾教授¹⁰⁾の測定した S-203 の船尾波形を souace 分布の係数 a_1 の修正を加え $a_1 = 0.6$ として細い長破線で示してある。同 B は A の船尾バルブ付きの波高 ζ_A から船尾バルブなしの波高 ζ を差し引いた量 $\zeta_A - \zeta$ を球の自由波波形(1 点

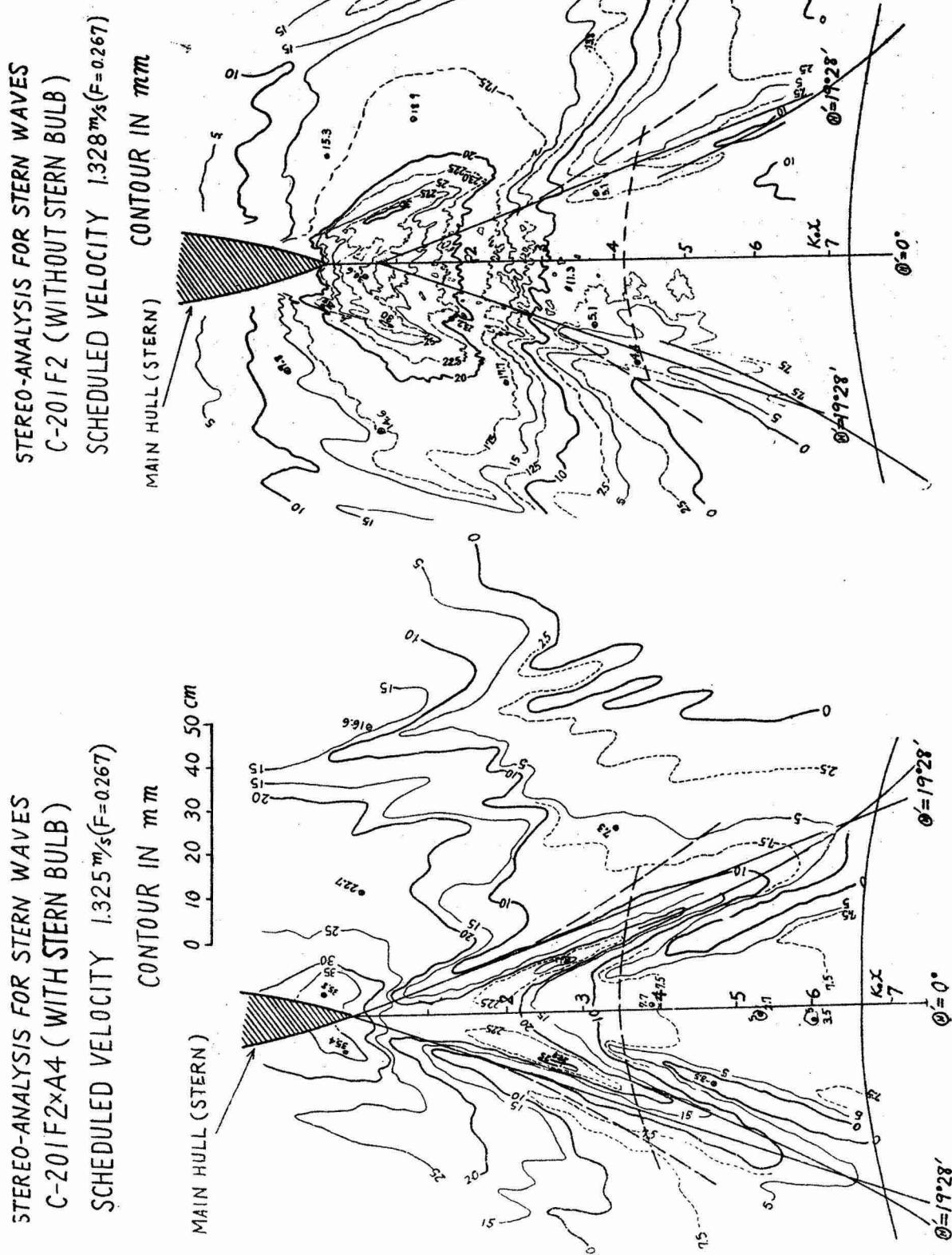


Fig. 6

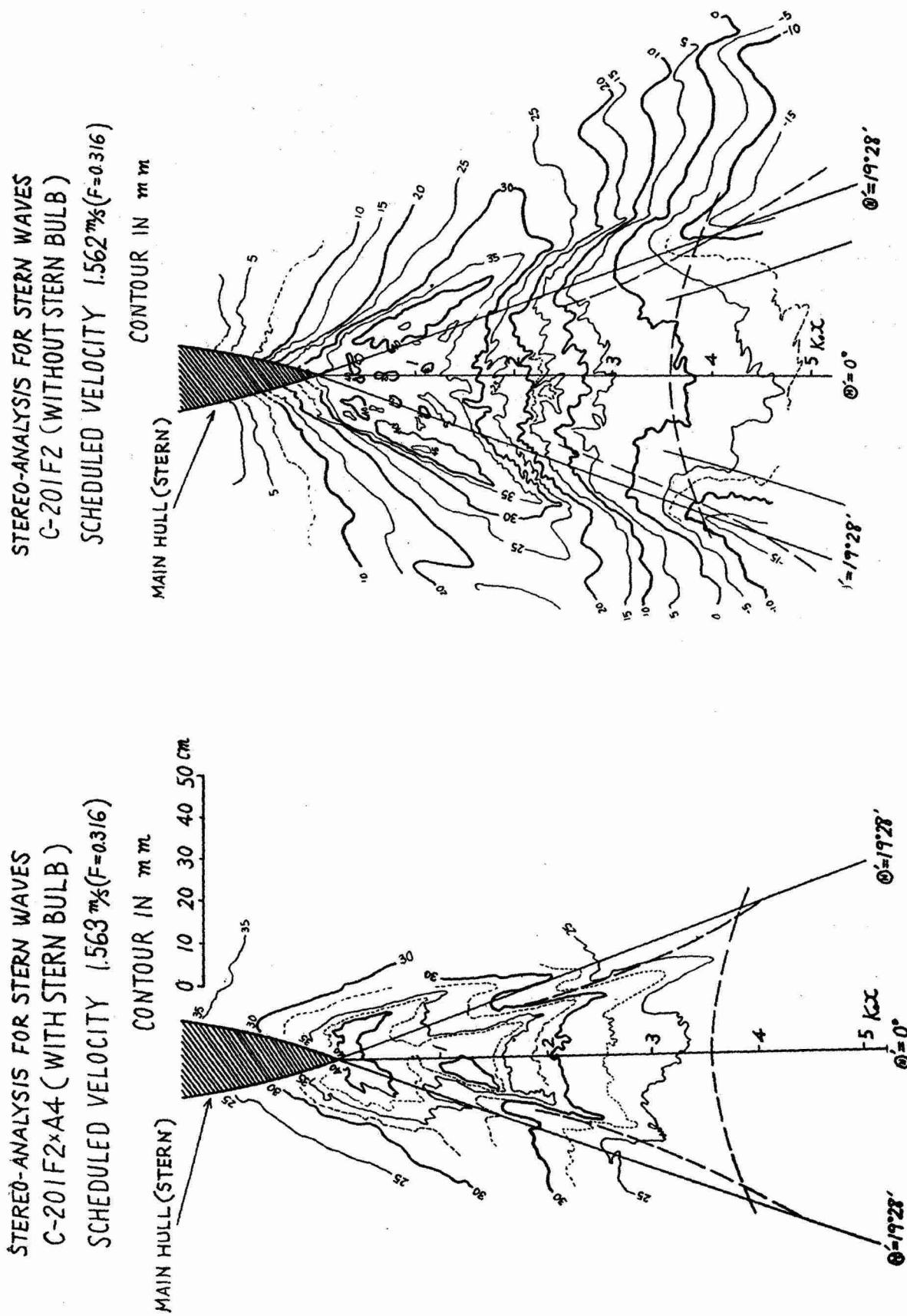


Fig. 7

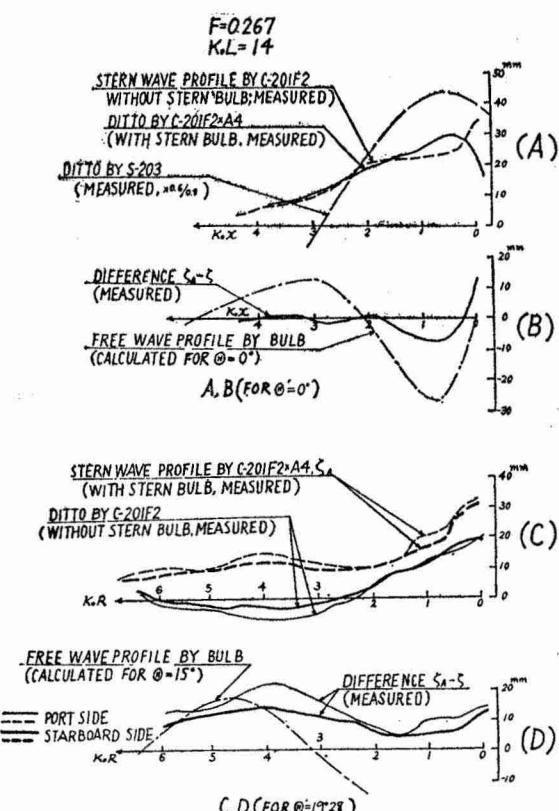


Fig. 8

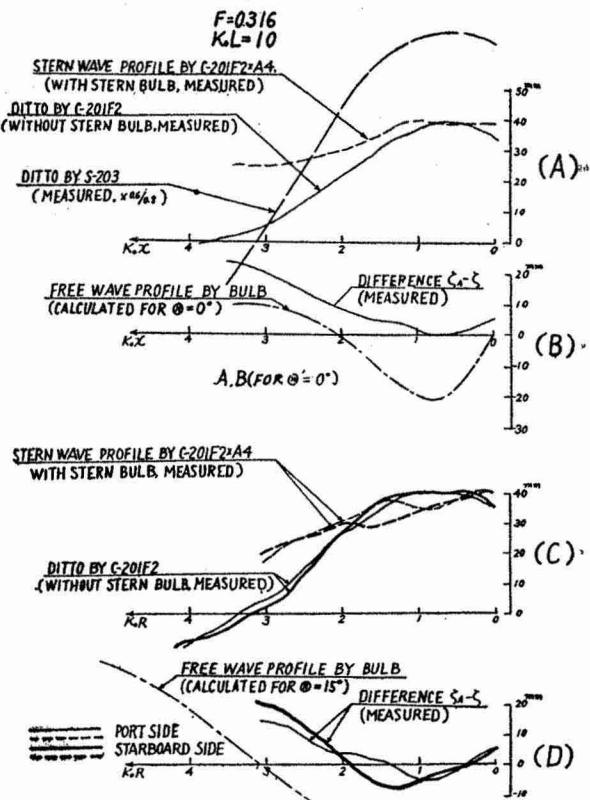


Fig. 9

鎖線)と比較したものである。第8図C,Dは同様の操作を $\Theta'=19^{\circ}28'$ の鉛直断面について行なつたものである。同じく第7図の断面が第9図である。鉛直断面の原点は第6図右の $\Theta'=19^{\circ}28'$ の断面のみAP後方5%Lとし、ほかは全部APを断面の原点としている。このように断面をとることによつて、第8, 9図にみるよう船尾バルブの波は理論と実験とが傾向的に一致する。なおこれらの断面の原点は、重ね合わした船首実測波形から推定した船尾波起点の4~6%後方にあたる。第7図($F=0.316$)はもちろん、第6図($F=0.267$)のように直観的にはかえつて船尾バルブ付きの波の高いようにみえるものも、写真測量によつてやはり波消しの状態が実現されていることがわかる。

5 む す び

本報告の明らかにしたことの要約すると次のようになる。

- (1) 船尾バルブは波消し(Waveless)の状態において、すべての自航要素、特に推力減少率と推進器効率比が改善されている。波消しの条件と推進効率の改善とは船尾形状と船尾バルブの適切な配合により両立することができる。これは有効馬力の減少と推進効率の向上とを同時に期待しうることを意味する。
- (2) 船尾バルブによる波消しの状態をステレオ写真測量によつて確かめた。測量の範囲が狭いため定量的に厳密なことはいえないが、船尾バルブのつくる波が理論で予期した通りであることを実証した。

この第3報をもつてWaveless Sternに関する著者の報告を一応終わるが、この研究にあたつて終始御支援・御指導を賜わつた恩師東京大学乾 崇夫教授ならびに茨城大学高幣哲夫助教授に厚くお礼を申し上げます。なお実験はすべて東大水槽において行なわれたものであり、御協力頂いた田古里哲夫講師、大学院学生梶谷 尚君はじめ水槽職員の方々、ならびにステレオ写真の図化にあたつて御努力願つた国土地理院の関係各位、とくに西村一蹊二技官に感謝を致します。

参 考 文 献

- 1) 著者: Waveless Stern の研究(その1), 造船協会論文集 108号(昭35/11)
- 2) " : " (その2), " 109号(昭36/5)

- 3) J.D. van Manen ほか : The Effect of Shape of Afterbody on Propulsion, T.S.N.A.M.E. 1959
- 4) G.R. Stunz ほか : Series 60-The Effect of variation in Afterbody Shape upon Resistance, Power, Wake Distribution, and Propeller excited vibratory Force, T.S.N.A.M.E. 1960
- 5) 笹島・田中・仲渡・森崎 : 球状船尾船の一実験, 昭和 35 年春季造船三学会にて講演
- 6) 山県昌夫 : 船型学 (推進篇), 天然社 p.97 および p.276
- 7) A.J. Lap ほか : Fundamentals of Ship Resistance and Propulsion, International Shipb. Progress,
- 8) 高橋哲夫 : Waveless Bow の研究 (その 2), 造船協会論文集 109 号 (昭 36/5)
p.211
- 9) E. Hogner : a contribution to the Theory of Ship Waves, Arkiv for M. A. och Fysik Bd 17 (1923
—24)
- 10) 乾・菊池・岩田 : 安息香酸塗膜による模型船 Wave Profile の測定, 造船協会論文集 100 号 (昭 31/11)