

(昭和 35 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 1)

正員 熊野道雄*

A Study on the Waveless Stern (part I)

By Michio Kumano, Member

Summary

This is the third paper connected with the "Waveless Hull Form" which has been developed at the Tokyo University Tank during last two years. By the first paper, it has been ascertained experimentally that the wave-making characteristics of the bulbous bow is actually represented by an isolated point doublet, and that we can expect to realize the "Waveless Hull Form" by fitting two suitable bulbs at the bow and stern, respectively, of the carefully pre-designed main hull form. The second paper, presented by Prof. Takahei, deals with the problem of the "Waveless bow".

While this third paper deals with the "Waveless Stern" from the above-mentioned standpoint of view. Unlike the bow wave, the stern wave is affected by the boundary layer, growing thicker and unstable near the stern. So it is not so simple to work out the problem theoretically as in the bow wave. With these effects of viscosity it redouble difficulty that the stern bulb is connected with the problem of the propulsion. Before proceeding to design the bulbs, we must know the starting point and amplitude function of the stern wave system. However, we have only poor informations about the behaviour of the wave near the stern. These must be determined almost experimentally.

As the first step, it is desirable that the bow wave system is canceled already and the stern wave system is \sin term only, because the wave of the bulb also has \sin term. Resistance tests were carried on the bow-waveless mathematical models, C-101F and C-201F, fitted with the various stern bulbs. Thus, by trial and error method, we pursued the optimum bulb for the designed speed.

Through the above tests, we may conclude that the "Waveless Hull Form" has been almost completed in C-201F2×A4 (see Fig. 7, 8, 9) at $F=0.28$.

1. 緒言

1-1 船尾バルブに関する従来の研究

船首に球状体をとりつけ、いわゆる球船首とする試みは古くから行なわれ、それについての理論的あるいは実験的研究はかなり多い。しかし船尾バルブについての研究は少なく、2,3 に止まるようである。これを分類すると 2通りの考え方別れる。D. W. Taylor¹⁾, G. Weinblum²⁾ の系統的実験は抵抗を減少させる意図のもとに船尾バルブを取り上げたのであり、Manen³⁾ 笹島教授⁴⁾ の実験は、抵抗よりむしろ、船尾バルブにより wake の増大・均一化を期待し、推進効率の向上を計る立場に立っている。前者における船尾バルブの効果については、船首尾バルブの総合された効果が示されているので、明らかでないが、少なくとも低速における効果は否定的のようである。すなわち抵抗の見地よりは、船体の肋骨線は前半部が U型、後半部は V型的であることが有利とされている⁵⁾。そこに、さしたる根拠もなく、船尾をふくらまし、肋骨線を U型的にしても、浸水面積の増加、形状抵抗の増大などを考え合せれば、造波抵抗上の多少の利得は打ち消され、抵抗が増加することは当然であろう。しかし後者の実験、すなわち、自航要素の向上を期待する立場で、船尾バルブを試みた例においては、バル

* 原稿受付 昭和 35 年 6 月 20 日

* 香川大学学芸学部

ブの位置形状の選択がよければ、推進効率の格段の向上のために、抵抗増の損失を十分補ない、DHP の上で有利となることがたしかめられている。以上すくなくとも在来の船尾バルブ実験の範囲では、船体抵抗の減少に成功した例はないといつてよい。

1-2 Waveless Stern

ところで東大水槽においては、従来と異なつた認識のもとに、理論船型および実用船型について、船首バルブの波形分析・抵抗試験が行なわれている。その結果、バルブの作る波*の性質が明らかにされ、適当な形状・位置・大きさのバルブを船首に付けることにより、設計速力において、船首波は打ち消され、それに起因する造波抵抗はゼロとなることが証明された⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このことは船尾においても理想流体に関する限りは、船首波とまつたく同様に取扱いうる。これより直ちに“Waveless Hull Form”的存在が、少くとも、理想流体に関する限りは理論的に予見できる。すなわち、バルブによる打ち消しの容易な単純な波系をもつ船体の首尾にバルブをつけ、打ち消しの条件を満してやればよく、それについては第1⁽⁶⁾第2⁽⁷⁾論文に詳しい。“Waveless Bow”を“Waveless Hull Form”実現の第1歩とすれば、“Waveless Stern”はその第2段階といえよう。しかも“Waveless Stern”を追求する上において、船尾波を純粹に取出すことの必要上、Bow Waveがないことが望ましくその意味でWaveless Bowの完成された船体がWaveless Stern研究の出発点となる。船尾の問題で、船首と相違する点を挙げると次のようになろう。

(1) 船首波は理想流体としての取扱いがそのまま許されるが、船尾波の粘性つまり流体に沿う境界層（場合によりその剥離の影響も含む）の存在によって、波が崩される。これを船の遙か後方における漸近的性質において考えれば、波高が低くなる。船尾バルブの効果の全抵抗に対する割合もそれだけ小さくなる。

(2) 船尾バルブの実用化に当つては特に single screw の船にあつては、推進器舵などのため、位置、形状、大きさに制約をうける。

そのほか Waveless Stern にあつては 1-1 に述べた推進性能の問題がでてくるが、これは前述の(2)と関連をもち、船尾は事情が複雑となつてくる。当然自航試験も必要となつてくるが、まず、Waveless Stern 研究の第1の過程として bow wave の消された理論船型につき、抵抗試験から始めた。その結果について報告する。

2. 供試船型——船尾波および船尾バルブ

2-1 供試船型

バルブの実験のために、いわゆる cos 船型とよばれる理論船型が、昨年東大水槽において、高幣助教授により計算された。それを主船体とする船首バルブについて、造波抵抗および船側波形の両面にわたり、実験と理論との比較が行なわれたことは、まことに述べた通りである。そこで船尾バルブの実験についても cos 船型を使用する。船首バルブにより、船首波の消えた状態としたのち、船尾バルブを取り付けて、抵抗試験を行なつた。つまり船首バルブにより、ほとんど船首波の消えた cos 船型を出発点としている。cos 船型は対応する source 分布が sin であるため、Michell 流の近似によれば、water line の形が cos となるのでこのようによばれる。これについては文献⁽⁸⁾にくわしいので、ここでは船尾バルブに必要なことのみを述べる。すなわち、この船型の source 分布を与える式は次のようになる。船首を原点に、船の進行方向を x 軸の負の方向にとり、 $\xi/l = \xi'$, $\zeta/l = \zeta'$, ただし l は船の長さ L の半分, ξ, ζ は船の中心線面上の座標とする。

$$\begin{aligned} m(\xi', \zeta') &= m_1(\xi')m_2(\zeta') \\ m_1(\xi') &= a_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{1-\xi'}{l}\right) \quad 2 > \xi' > 0 \\ m_2(\zeta') &= 1 \quad 0 > \zeta' > t \end{aligned} \quad (1)$$

m は船体中心線面上の単位面積あたりの source の強さを船の速さ V でわつたもので、 ξ' の関数と ζ' の関数の積の形であらわされ、いわゆる分離形となつていて、計算・製作された cos 船型は 2 隻あり、ともに $L=2.5$ m で東大水槽で実験可能な最大の長さである。fine な模型 C-101 は $a_1=0.4$, full な C-201 は $a_1=0.6$ であり t はともに 0.05 で TableI にそれぞれの模型の船首バルブ付きの状態**での principal particulars を示してある。

* 波は自由波と局部波よりなるが、特にことわらない限り、造波抵抗に關係する自由波のみを指す。

** 模型の名称で、たとえば、C-101F は主船体 C-101 に F という名称の船首バルブが装着されていることを示す。さらに C-101F に A1 なる船尾バルブを組み合わすと C-101F×A1 となる。

TABLE I PRINCIPAL PARTICULARS OF MODELS WITH BOW BULB

		WITHOUT BOWBULB		WITH BOW BULB						
		V ($\times 10^3 \text{m}^3$)	S (m^2)	L_{PP} (m)	L_{OA} (m)	$V/(L_{PP}^3)$ $\times 10$	$V/(L_{OA}^3)$ $\times 10$	V ($\times 10^3 \text{m}^3$)	S (m^2)	A_B ($\times 10^4 \text{m}^2$)
C-101	C-101 F	62.440	1.108	2.50	2.65	4.139	3.475	64.666	1.172	0.386
C-201	C-201 F	93.250	1.215	2.50	2.68	6.334	5.142	98.971	1.345	0.580
	C-201 F2	"	"	2.50	2.71	6.209	4.848	97.030	1.336	"

 V = DISPL VOLUME S = WETTED SURFACE

2-2 cos 船型の船尾波

船尾バルブを設計するには、船尾波、それも船のはるか後方でなく、船尾直後付近の知識が必要である。具体的には振幅と起点で、振幅よりバルブの大きさが、起点よりバルブの中心位置ひいては形状が決まる。ステレオカメラにより船尾波を撮影し、解析して、それより波の起点と振幅関数を逆算するのが最上の方法であろう。しかし、ステレオ解析の可能な波の写真を水槽で撮ることは容易でない⁸⁾。現在東大水槽においてステレオ撮影の用意が進められているが次善の策としてステレオ撮影によるもの程直接的ではないが、以下2,3の方法を述べる。

(1) source 分布を見てもわかるように cos 船型は肩波がない。船首尾においても source 分布の奇数次微係数の値がゼロであるため cos の波系がなくなる。船首尾の波系は粘性その他の影響を考慮に入れないとときは、速度に関係なく、船首尾から出発することになり、それぞれ次式で表わされる。ここで添字 F は船首、A は船尾をあらわす。同じく添字 w は自由波の成分を示す。

$$\begin{cases} \zeta_{wF}(x, y) \\ \zeta_{wA}(x, y) \end{cases} \sim \int_{-\pi/2}^{\pi/2} A(\theta) \sin(K_0 L p' \sec^2 \theta) d\theta \quad (x > 0) \quad (2)$$

ここに

$$A(\theta) = \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \frac{U(K_0 T, \theta) \sec^2 \theta}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2}$$

$$U(K_0 T, \theta) = 1 - \exp(-K_0 T \sec^2 \theta)$$

$$L p' = \begin{cases} x \cos \theta + y \sin \theta & \text{船首波に対し} \\ (x - L) \cos \theta + y \sin \theta & \text{船尾波に対し} \end{cases}$$

$$K_0 = g/V^2 \quad g \text{ は重力加速度}$$

$A(\theta)*$ は振幅関数である。いまの場合、船首尾同形となる。

船首波とまったく同様に、船尾波も、その起点に、ひとしい振幅関数をもつバルブを付けることにより、打ち消すことができるというのがわれわれの考え方である。そこで粘性修正係数 $\beta \delta$ を導入し、船尾波のみの式を書き直すと

$$\zeta_{wA} \sim \beta \int_{-\pi/2}^{\pi/2} A_A(\theta) \sin(K_0 L p' \sec \theta) d\theta \quad (x > 0) \quad (3)$$

ここに

$$L p' = (x - 1 + \delta L) \cos \theta + y \sin \theta$$

$$A_A(\theta) = A_F(\theta) = A(\theta)$$

β, δ は船型要素および F 数の関数で、造波抵抗において、理論と実験が一致するように、定めた値である¹⁰⁾。第1図に C-101, C-201 に対する $\beta \delta$ を示す。

β は粘性の影響のため、船尾波の振幅関数が減少する割合を、完全流体の場合を 1 として示したものである。造波抵抗係数の干渉項の位相に関係するのは δ のみで、すなわち、船首波と船尾波の起点間の距離を $(1 + \delta)L$ として求めたのであるから、 δ の中には、船首波が何らかの原因で、正しく船首から出発しないことの影響**もふくまれる。

また根本的な問題であるが、われわれは船のはるか後方における波の漸近的性質に着目して、造波抵抗を求めた。そのため (3) をそのまま船の直後に適用することは無理であつて、船尾波の起点が、船尾より δL だけ後方と考えることはできない。しかし**に注意すれば、船尾バルブ設計の一

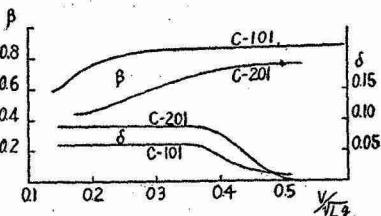


Fig. 1

* この $A(\theta)$ は船首波または船尾波のみの振幅関数で、特に船尾波を指すときは $A_A(\theta)$ とかく。文献 (6) 付録参照。

** 船体表面上の境界条件において、波の orbital motion に対する補正が考慮されていないためと考えられ、 $F \leq 0.4$ の領域で 3~5%， δ よりそれを差し引いたものが純粋に粘性に起因する位相修正と考えてよい。

応の指針となろう。

(2) 直接船尾後方に平板をとりつけ、平板上の波形を特殊塗膜*を用いて固定する方法である¹¹⁾。直接、波形を撮影してもよい。横波の要素がほとんどであるが、これより振幅・起点が求まる。この実験はかなりの手数を要する。また船尾波は高速域以外は、推定の資料となるような明確な波形がえられないだろうと考えたので、今回は行なわなかつた。しかし船尾バルブにあつても、抵抗試験の結果に着目するばかりでなく、波形の測定と分析も必要であることは勿論である。

(3) 第2の方法に代る簡易法として、造波抵抗曲線と、船側波形曲線より推定された船尾直後付近の後続波とを組み合せて、船尾波の起点を推定することができる。すなわち第2図により説明すると、これをある hump の速力における船側波形および後続波とする。船側波形は船首波によるもので船尾より後方においても、船側より延長して推定することができる。船側にあつても、船尾付近では波高が低くなり、はつきりしないが、理論波形を参照することにより、船尾より少し後方まで延長することは容易であり、図の実線はそれである。平均水面(破線)とAP直後の波形との交点をAとし、Aを船尾波の起点と考えれば、humpを説明できる。

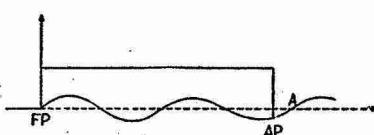


Fig. 2

以上のように、いろいろの方法で船尾波それも船尾直後における状態を推定することができる。

2-3 船尾バルブ

つぎにバルブのつくる波に移る。設計速力は C-101 F=0.26, C-201 F=0.28 付近としているのでかなりの高速と考えてよい。この程度の速度では、船首バルブの経験より、船尾バルブも球、すなわち相等特異点としては1コの doublet となる。すなわち

$$\zeta_{wa} \sim - \int_{-\pi/2}^{\pi/2} B(\theta) \sin(K_0 L p' \sec \theta) d\theta \quad (4)$$

ここに

$$B(\theta) = 2L(K_0 L)^2(a_0/L)^3 \exp(-K_0 f \sec^2 \theta) \sec^4 \theta$$

$$L p' = (x - 1 + \delta''' L) \cos \theta + y \sin \theta$$

$\delta''' L$ はバルブ中心と AP との距離、 a_0 は内接球の半径、 f は深さとする

船尾バルブは船体に続く部分および後端に fairing を施さなければならぬ。このため船尾バルブの形は球というより、断面が円に近い紡錘形となる。形状を第3, 4, 7図に示す。このような形の船尾バルブのほかに2, 3異なる形のバルブも試みたが、前述の形状がもつとも有望であつた。バルブを1コの doublet と等価とすると、設計速力においても、船尾波の振幅関数 $A_A(\theta)$ と $B(\theta)$ とをすべての θ に対して、等しくさせて打ち消しの条件を満足させることは不可能である。近似的に造波抵抗にもつとも貢献する $\theta=0$ において、両者を比較して最適の bulb の大きさを推定した。Table 2 にそれぞれの設計速力に対する β, δ の値、 $(B(\theta)/\beta A_A(\theta))_{\theta=0}=1$ を満足する球の半径 a_0' と L の比 a_0'/L 、 δ に対し船首波の位相のずれに相当する修正を加えた δ' 、簡易法により推定した δ'' を示した。

TABLE 2

MODELS	DESIGNED SPEED (M/S)	β	$a_0'/L (\%)$	δ	δ'	δ''
C-101 F	0.26	0.83	2.49	0.06	0.02	0.00
C-201 F ₂	0.28	0.58	2.78	0.09	0.05	0.04

3. 抵抗試験

3-1 試験の結果

実験は昭和35年春東大水槽において行なわれた。ここには代表的バルブ数コの抵抗曲線を示すことにし、他のバルブはそのつど必要に応じ取り上げる。

Table 3 は船尾バルブおよび船尾バルブ付き模型の要目であり、第3, 4, 7図はその lines、第5, 6, 8~11図は全抵抗係数および造波抵抗係数である。(以後全抵抗係数を C_t 、造波抵抗係数を C_w と略称する。) 模型は船首バルブの頭部(進行方向と60°の角をなす位置)には高さ0.5mmのSS91/2には高さ1mmのplate studsを10mmの間隔で植えた状態で試験した。この乱流促進法が適當なものであることは、たしかめられているの

* Hydroquinone-diacetate または安息香酸の薄い塗膜を指す。安息香酸の方が性能がよい。

TABLE 3 PARTICULARS OF STERN BULBS

	NAME	STERN BULB				MODEL WITH STERN BULB				
		$\Delta V/V$ (%)	$\Delta V/V$ ($\Delta V/V_F$) (%)	a_o/L (%)	POSITION OF BULB CENTER	$\Delta S/S$ (%)	L_{PP} (m)	L_{OA} (m)	V_T ($\times 10^{-3} m^3$)	S_T (m^2)
C-101F	A ₁	3.75	102.6	2.00	25%LAFT	6.20	2.50	2.84	67.000	1.239
	A ₉	2.31	64.9	2.00	25%LAFT	5.05	"	2.84	66.107	1.228
C-201F	A ₄	2.02	33.0	2.28	25%LAFT	5.28	2.50	2.88	100.865	1.409
C-201F ₂	A ₄	"	49.8	"	"	"	"	"	98.914	1.400

 ∇ S = VOLUME AND WETTED SURFACE OF MODELS WITHOUT BULBS RESPECTIVELY

() F REPRESENTS BOW BULB

 a_o = RADIUS OF SPHERE TOUCHING INTERNALLY AT BULB CENTER

で $F=0.1$ 付近の値はかなり信用できる。結果の解析に当つては、friction line として、形状影響を考慮に入れた Hughes' Line (1954) を採用した。すなわち

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho V^2 L^2} = (1+K) \left(C_{f0} \times \frac{S}{L^2} \right) \quad (5)$$

$$C_{f0} = 0.066 \left(-2.03 + \log_{10} \frac{VL}{v} \right)^{-2}$$

 K =形状影響係数 (form factor)

K は、 $F=0.1$ 付近において、 C_t 曲線に friction line が接するように、値を定めた。C-101F に対し $K=0.16$ 、C-201F および F₂ に対し $K=0.25$ で、これは船尾バルブを付けることにより、変わらなかつた。ただ C-201F×A4 のみは $F=0.1$ の付近で $K=0.25$ でなく、 $K=0.29$ の friction line に接し、 K にして 0.04、係数にして 3.62×10^{-5} は船尾バルブによる造渦抵抗係数の増加とみられ、 C_w はその分だけ差し引かなければならない。一応 C_t より C_f を差し引き、 C_w を求めたが、第 9 図にみるよう C-201F×A4 の C_w 曲線は造渦抵抗を考慮して base line を 3.62×10^{-5} にとつた。

3-2 考 察

さて箇々の曲線を TABLE 2,3 を参考にしながら調べてみよう。

(1) C-101F の船尾バルブ

C-101F×A1 の C_t 曲線は $F=0.28$ において「バルブなし」と交叉し、それより低い F 数領域では、かえつてバルブ付きの C_t が高いがこれは船尾波打ち消しの条件から著しく外れた低速では、バルブの固有抵抗、あるいはバルブによる浸水面積の増加を考えれば当然であり、ほかの船尾バルブに限らず、船首バルブにあつても、みな同じ傾向を示している。A1 は本来船首バルブ用に設計されたものである。船尾波は粘性のため船首波

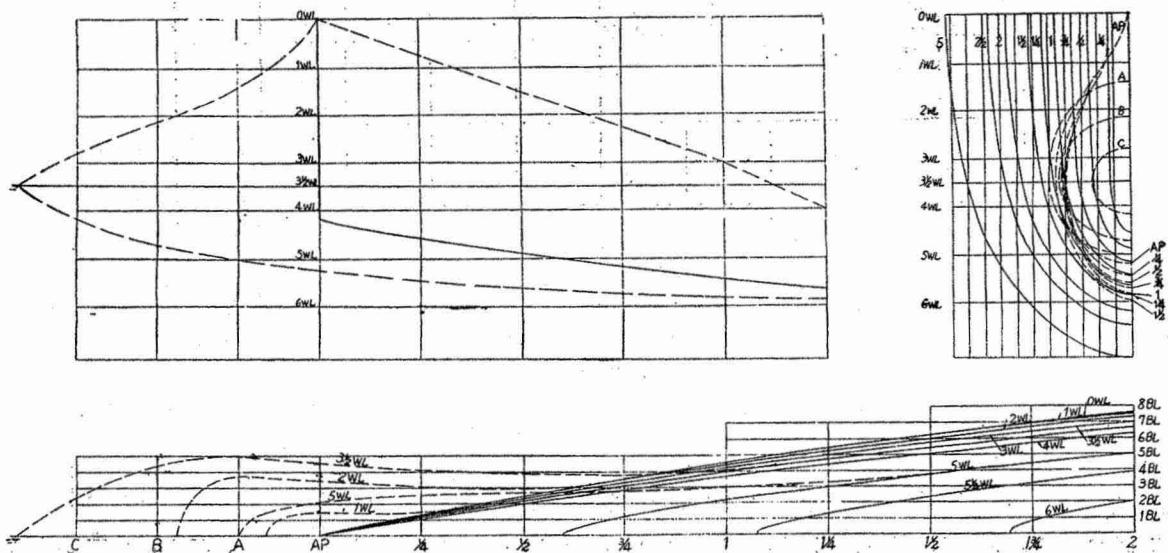


Fig. 3 Lines for C-101F×A1

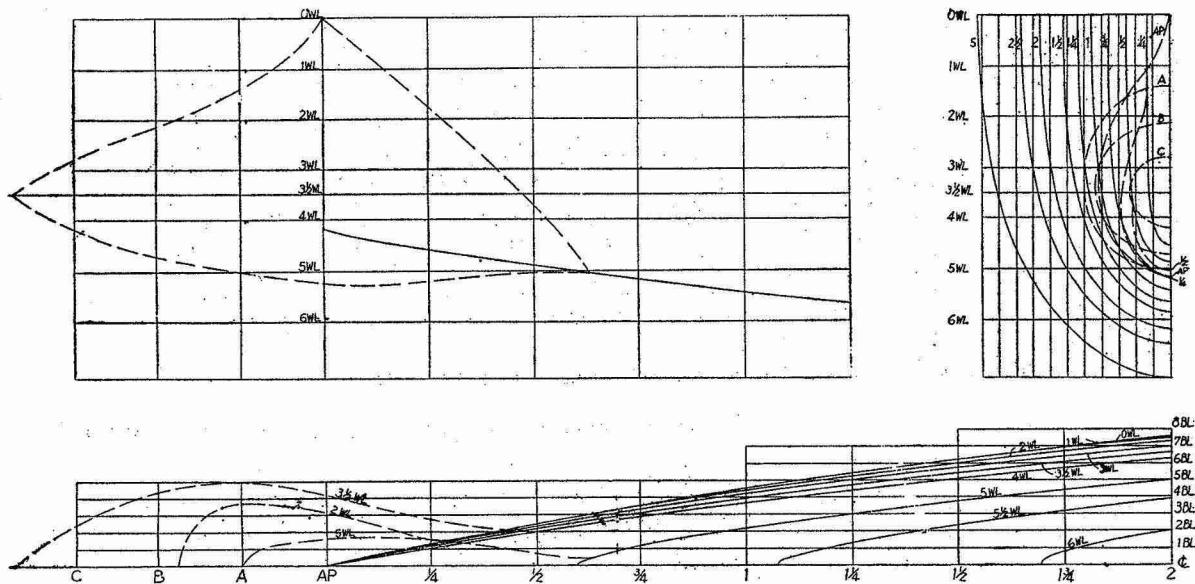


Fig. 4 Lines for C-101F × A9

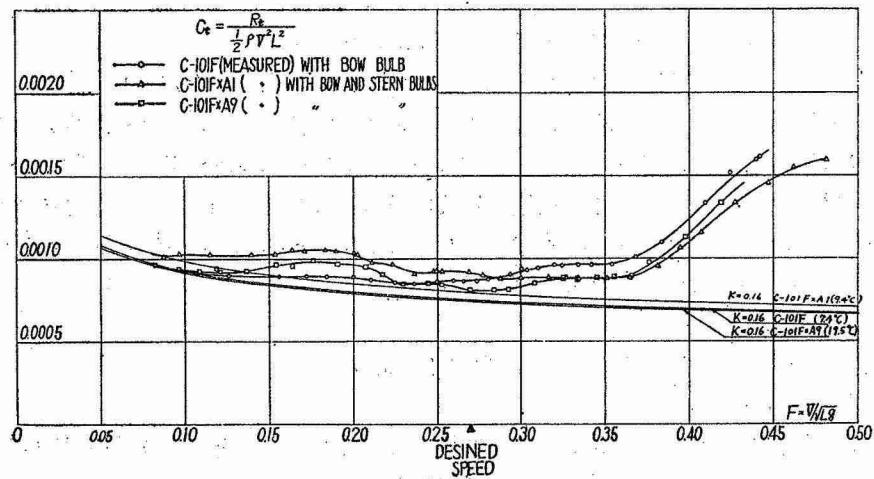


Fig. 5

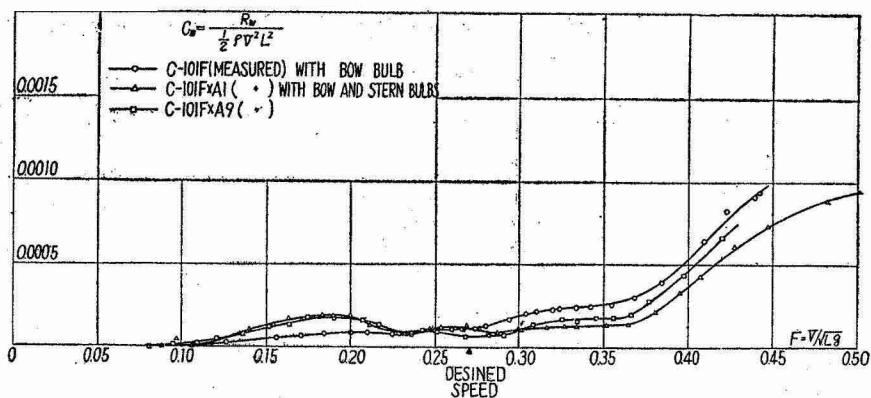


Fig. 6

より小さいために、船首バルブと同じ体積ならば、有効 F 数が高速にずれるのは当然である。 C_w は $F=0.31 \sim 0.36$ で $1/2$ に減っている。そこで、バルブ中心における内接球の半径を一定に、また中心位置 (2.5%L AP より後方) を変えないで fairing の部分をけずりとつたものが A9 で、体積が A1 の約 $2/3$ 弱となつている。fairing 部分をけずるのは、どの程度まで許されるか、わかつていないが、A9 をもう少し削つても、造渦抵抗がひどくふえることはないだろう。A9 は $F=0.28$ 付近で有効となり、始めの予定である $F=0.26$ に近づいた。

Waveless Stern の研究

69

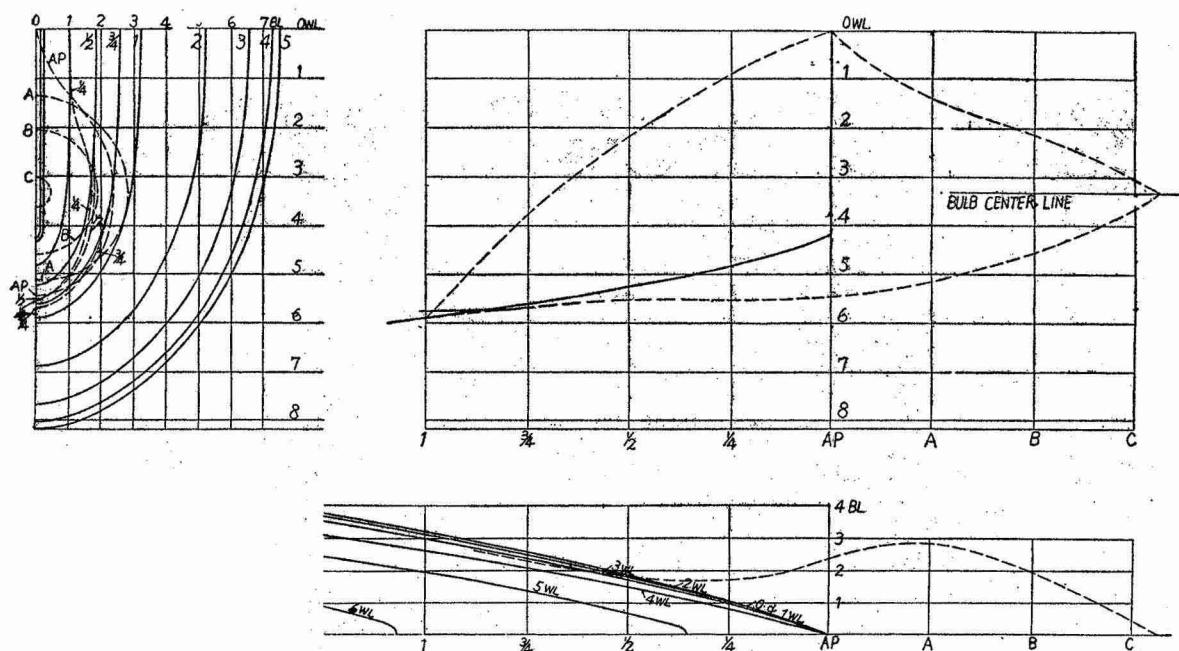


Fig. 7 Lines for C-201F(2)×A4

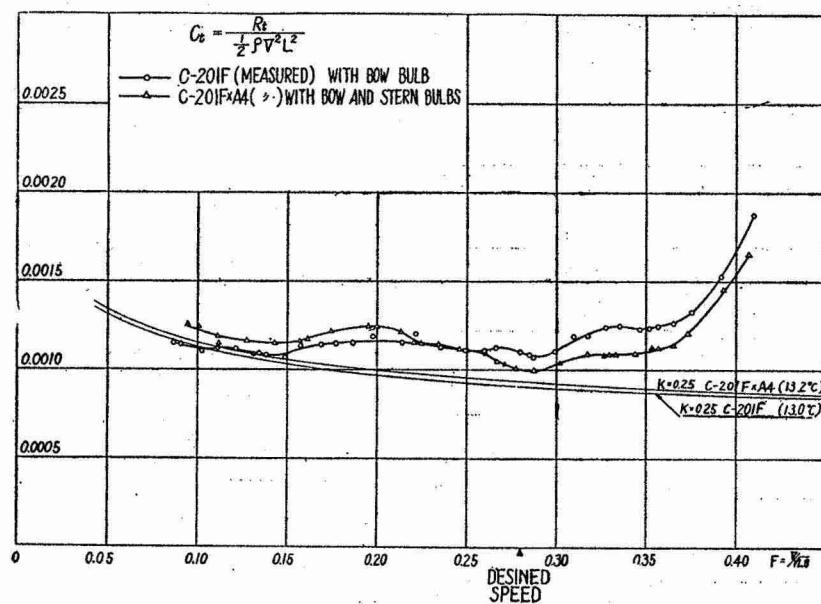


Fig. 8

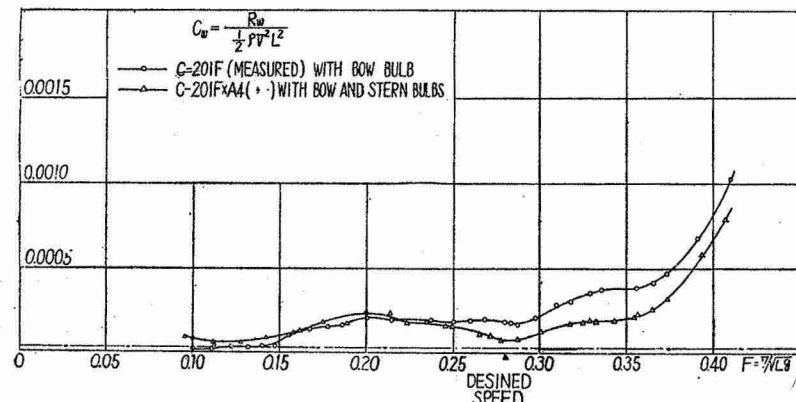


Fig. 9

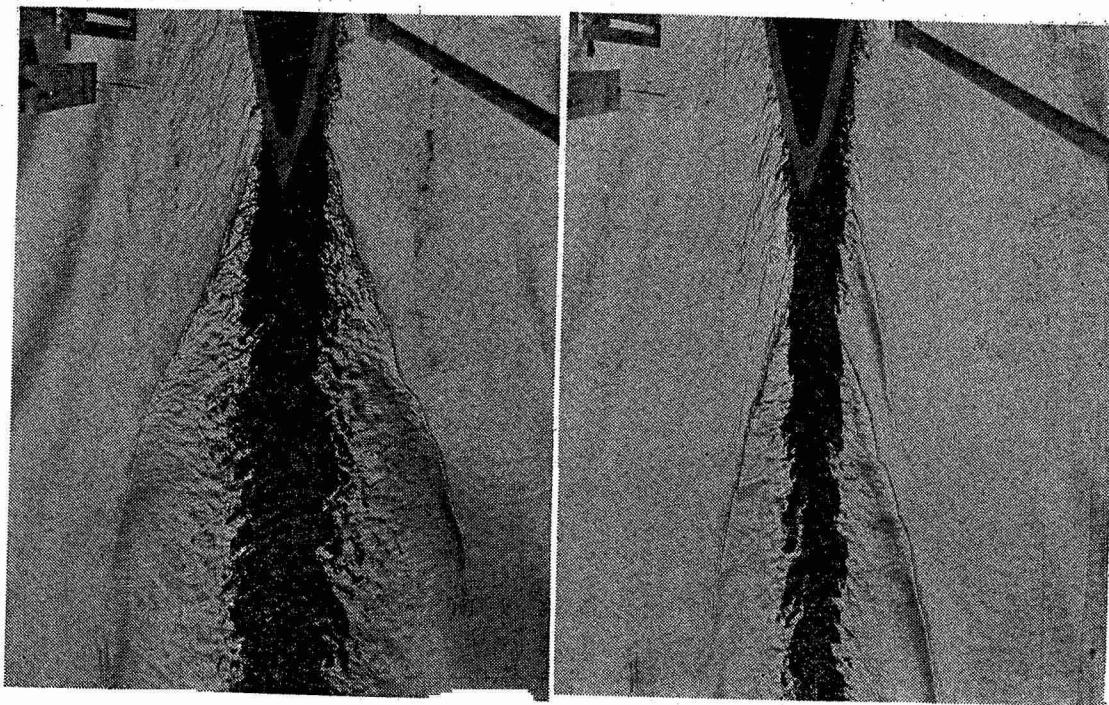
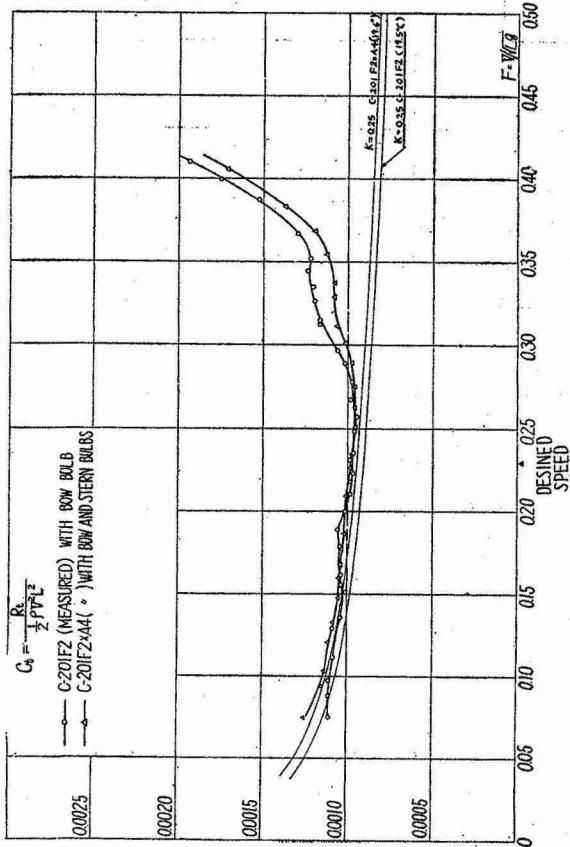
Fig. 12C-201_s, F-201F2×A4

Fig. 10

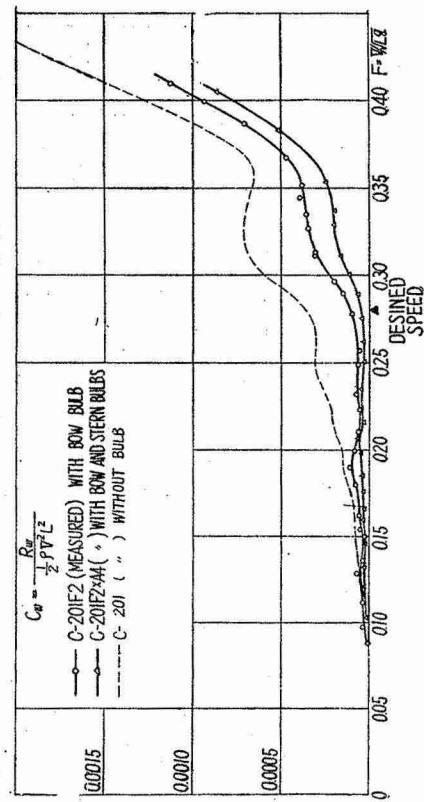


Fig. 11

$F=0.28$ で $1/2$ 強に減っている。一般にバルブ付きの C_t, C_w 曲線は高 F 数領域ではバルブなしの曲線より低い所を大体平行してゆく傾向がある。それはバルブによる打ち消しの効果のほかに、バルブをつけることにより、船尾波に対する粘性修正量 β が小さくなつた影響が含まれていると見られる。しかし両者を分離して調べることは困難である。full な船型にあつては、この β の変化は小さいと見られるが、これも予想の域をでない。バルブの中心位置も第 2 表に示すのにはほぼ近い所で、よい結果がえられたことになる。

(2) C-201F・C-201F2 の船尾バルブ

C-201F×A4 は設計速力 $F=0.28$ において、予想以上に C_w が低下し、純粹の造波抵抗はほとんどなくなり、打ち消し不十分で残つた船首波による基本項以下となつた。ところが第 10・11 図にみると、同じ船尾バルブ A4 を異なつた船首バルブ F2 と組み合わすと、またちがつた様相を示すことがわかる。C-201F2×A4 にあつては C_w 曲線に $F=0.28$ において谷ができていない。船首波の状態が船首バルブにより、異なつてゐることはあきらかである。船尾バルブが設計速力において、打ち消しの条件を完全に満せば、船首尾間の干渉項はゼロとなる。したがつて同一船尾バルブの C_t, C_w 曲線は当然類似の様相を示すべきである。C-201F×A4 はわれわれも十分わかつてない機構により、船首バルブと船尾バルブが完全に match してよい結果をえたと考えてよいだろう。なお第 12 図は C-201F2, C-201F2×A4 の $F=0.316$ における船尾局部流の写真である。上 C-201F2, 下 C-201F2×A4 とを比較するとバルブを付けることにより横波 (crest line 内部) は勿論船尾よりの crest line もかなり波高がへっていることがわかる。

4. む す び

以上 "Waveless Hull Form" 研究の 1 つの段階として "Waveless Stern" の抵抗試験を行ない、問題を抵抗の面に限つて報告した。第 11 図にみると "Waveless Hull Form" は C-201F2×A4 において、ほぼ完成したと考えてよいだろう。

なお船尾バルブの研究と表裏一体をなす船尾波の機構についても水面上からの観察ではえられない知識をたしかめることができた。逆に船尾バルブはステレオ解析とならんで船尾波の構造を調べる便利な方法であるといえる。

現在までの抵抗試験で、はつきり云えることは次のようにある。

(1) 船尾バルブにより C_w を減少させることは容易である。しかし船首バルブ型の船尾バルブにあつては、浸水面積が増加するので、 C_t においても、有利性をたしかめることは C_w/C_f が小さい低 F 数 (C-101F では $F=0.28$, C-201F・C-201F2 では $F=0.26$ 以下) においては、困難である。

(2) 船尾バルブの fairing 部分は fine な模型特に低速にあつては、かなり造波に貢献するので、バルブの造波効果を内接球と等価であるとすることは、その条件では、定性的説明を与えるに止まる。

(3) 船尾波の起点は、第 2 表による推定よりの誤差は $2\sim3\% L$ 以内である。

以上抵抗の面で、一応船首尾バルブの適当な組み合せがえられた。推進効率向上の問題については今後、1-2 に示した方法で進める予定である。最後に終始熱心に御指導を賜つた東京大学乾崇夫教授ならびに茨城大学高幣哲夫助教授、さらに直接実験および解析に協力された大学院学生梶谷 尚工学士ならびに東大船型試験水槽職員の方々に厚くお礼を申し上げます。

* 第 11 図に参考のために、船首バルブをも除いた C-201 の C_w 曲線を示してある。

文 献

- (1) D. W. Taylor : On the Form of Ships upon their Resistance T.S.N.A.M.E. Vol. 19, 1911.
- (2) G. Weinblum : Schiffssform und Widerstand Schiffbau Februar 1939.
- (3) Manen and Kamps ; The Effect of Shape of Afterbody on Propulsion T.S.N.A.M.E. NOV 1959.
- (4) 笹島・田中・仲渡・森崎 : 球状船尾船の一実験 昭和 35 年春季造船三学会連合講演会にて講演
- (5) D. W. Taylor : The Speed and Power of Ships (Washington, 1943)
- (6) 乾・高幣・熊野 : 球状船首の造波効果に関する水槽試験 昭和 35.11 造船協会秋季講演会発表予定
- (7) 高幣哲夫 : Waveless Bow の研究 同 上
- (8) 乾 崇夫 : 眼で見る船型試験の話, 船舶 (昭 32/1 月)
- (9) 乾 崇夫 : 正しい船型条件による造波抵抗理論の新展開 (第 3 報 粘性の影響) 造船協会会報 93 号
- (10) 梶谷・多賀野 : 球状船首に関する水槽試験 昭和 34 年 東京大学工学部卒業論文
- (11) 乾・竹沢 : 特殊塗膜による一二の水槽試験造船協会会報 92 号