

(昭和 35 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

Waveless Bow の 研 究 (その 1)

正員 高 幣 哲 夫*

A Study on the Waveless Bow (Part 1)

By Tetsuo TAKAHEI, Member

Summary

This is the second paper on the "Waveless Hull Form" which has been developed at the Tokyo University Tank during last two years.

In the first paper the tank experiments on the bulbous bow have conclusively proved that the wave-making characteristics of the bulb can be practically represented by an isolated point doublet. The free wave due to a point doublet has just the inverse phase against the wave due to a continuous source distribution. The latter singularity corresponds to a main hull, and the waves arise exclusively at the bow and the stern.

Therefore, if the waves due to the bulbs fitted at the bow and the stern most effectively interfere with the waves due to the main hull, the situation of the "Waveless Hull Form" is to be realized. That is perfectly possible with the combination of the bulbs and the main hull, best adapted to the designed speed. Thus we can realize the ideal of the "Waveless Hull Form", which means the "Wave-Making-Resistanceless Hull Form".

The present author began with the investigation on the characteristics of the phase and the amplitude of the waves due to the bow bulbs with the newly designed mathematical hull forms, and attained to the "Waveless Bow" with the two models: one being a fine model C-101F and waveless at the speed of Froude's number 0.26, and the other a full model C-201F2 and at F.n. 0.27.

前論文⁽¹⁾の球状船首をもつた大型油槽船の船側波形の測定の結果から、バルブの後続自由波の位相的性質が確認され、これから直ちに、在来の船型学では夢想だにしなかつた Wave-Making-Resistanceless Hull Form (造波抵抗ゼロ船型) が実在しうることの可能性が考えられるにいたつた。

以下この論文では特に船首について、東大水槽で追求しえた上記理論的予測を実験的に確認した経過について述べる。

内 容

- | | |
|-------------|------------------------|
| 1. 供 試 船 型 | 3. 抵 抗 試 験 |
| 1.1 主 船 体 | 3.1 バルブによる造波抵抗減少量の理論計算 |
| 1.2 バ ル ブ | 3.2 実 験 結 果 |
| 2. 波形の測定と分析 | 4. 在来の船型との比較 |
| | む す び |

1. 供 試 船 型

1.1 主 船 体

原稿受付 昭和 35 年 6 月 20 日

* 茨城大学助教授

船の造る波を完全造波干渉によつて Waveless の状態とするためには、前論文に説明されたように、船体平行部のない（肩から波を発生しない）適当な船型を主船体を選んで、船首尾からできる波に対して位相的には逆位相で、素成波の振幅函数が等しい波を別に造つて、波消しの干渉を行なわせればよい。

船首尾の波に対しては、バルブによつてほぼ逆位相の波を造りうるということが実験的に明らかにされた。バルブの波が位相的には $-\sin$ の位相の波であることを考慮して、 $\cos$ の波を含まず、 F 数のいかにかわらずつねに船首の位置を基点とする $+\sin$ の波だけからなる波を造る、次に示すような Source 分布であらわされる船型を主船体を選ぶ。すなわち船の進行方向を x 軸の負の方向にとつて、 $2\xi/L=\xi'$ 、 $2\xi/L=\xi'$ として、Source 分布を定める関係式 $m(\xi', \xi')=m_1(\xi') \cdot m_2(\xi')$ において、 x 方向の分布が船の長さ $\xi'=0$ （船首） ~ 2 （船尾）にわたつて

$$m_1(\xi')=a_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} \overline{1-\xi'}\right) \quad (1.1)$$

この分布は Michell 流の近似に従えば、水線面は $\cos$ 型となるので、ここでは Cos 船型と呼ぶこととする。Source の喫水方向の分布は波の位相には関係しない。ここでは U 型の Frame Line に相当する

$$m_2(\xi')=1 \quad \xi'=-t \sim 0 \quad (t=2T/L) \quad (1.2)$$

を選んだ。

供試船型として製作したのは2隻で、(1.1)、(1.2) 式においてそれぞれ

$$\text{船型 C-101} \quad a_1=0.4, \quad t=0.1$$

$$\text{船型 C-201} \quad a_1=0.6, \quad t=0.1$$

としたもので、いずれも前後対称である。その要目を第1表に示す。なお以後特にことわらない限り船の長さ L は $L_{pp}(=L_{WL})$ をとるものとする。

第 1 表

Model	$L_{pp}(\text{m})$	$L_{oa}(\text{m})$	B/L_{pp}	T_F/L_{pp}	T_A/L_{pp}	T_M/L_{pp}	$\nabla(\times 10^{-3} \text{m}^3)$
C-101	2.500	2.500	0.0904	0.0500	0.0500	0.0859	62.440
C-101 F	"	2.650	"	0.0634	"	"	64.666
C-201	"	2.500	0.1208	0.0500	"	0.0984	93.250
C-201 F 2	"	2.715	"	0.0752	"	"	97.030

$S(\text{m}^2)$	$A_M(\times 10^{-1} \text{m}^2)$	$\nabla/(L_{pp}/10)^3$	$\nabla(L_{oa}/10)^3$	Bow Bulb			
				$\Delta \nabla/\nabla(\%)$	$\Delta S/S(\%)$	$A_B/A_M(\%)$	Position of Bulb Center
1.108	0.386	3.968	3.968	—	—	—	—
1.172	"	4.139	3.475	3.60	5.80	20.0	4% L Forward of FP
1.215	0.580	5.968	5.968	—	—	—	—
1.336	"	6.220	4.850	4.06	9.96	22.1	6% L Forward of FP

$L_{pp}=L_{WL}$ L_{oa} : Including Bulb T_F =Draft at FP T_A =Draft at AP T_M =Draft at Midship
 A_M =Midship Sectional Area A_B =Sectional Area at Bulb Center

船型の計算はさきに乾教授が Source の直線型分布について行なつた方法⁽²⁾になつて、Runge-Kutta 法によつて流線を追跡するもので、今回は電子計算機を使用した。流線の数はいずれも4本で、 $x=0.995, 0.9, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0$ の点の座標を求めた。C-101は Hitac-301 (日立)を用い、10進法10桁で所要時間約6時間半、C-201は Bendix G-15Dを用い、10進法7桁で約4時間を要した。計算に際しては特に船首尾端近傍で特異点のために被積分関数が鋭い Peak をつくるから、その取扱いに注意を要する。

なお船首尾の波が F 数のいかにかわらず、一定の点を起点とする $\sin$ の波となることは必ずしも Waveless Hull Form に対する必要条件ではないが、本実験のような、理論を確証する目的の供試船型としては適当な船型といえる。この船型は Entrance および Run の形状が Straight Water Line となり、平行部分をもたない。以下この論文ではこの船型を主船体として理論的に求められた Waveless Hull Form が実験的にどの程度まで理論的予測と一致するか、ということについて述べる。

供試の Cos 船型の船首波の自由波成分は次の式で与えられる。

$$\zeta_{xP}(x, y) \sim \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{U(K_0 T, \theta) \sec^2 \theta}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2} \sin(K_0 L p' \sec^2 \theta) d\theta \quad (x > 0) \quad (1.3)$$

ここに

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

$$p' = (x \cos \theta + y \sin \theta) / L$$

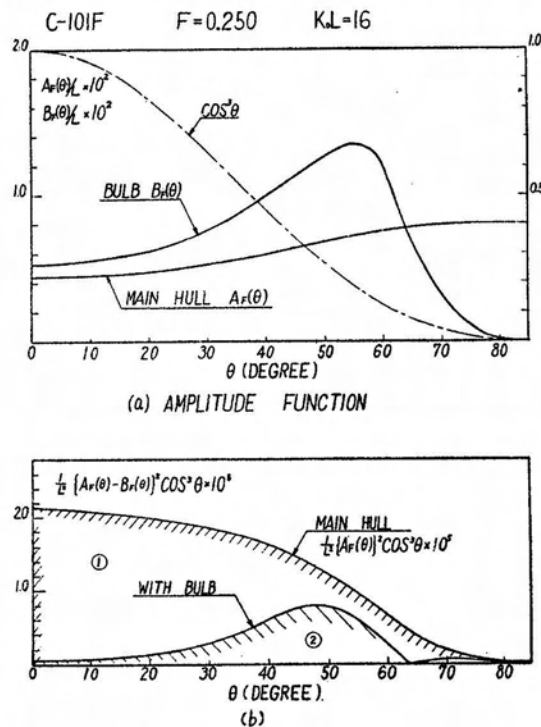
$$K_0 = g / V^2$$

したがって、その振幅関数は

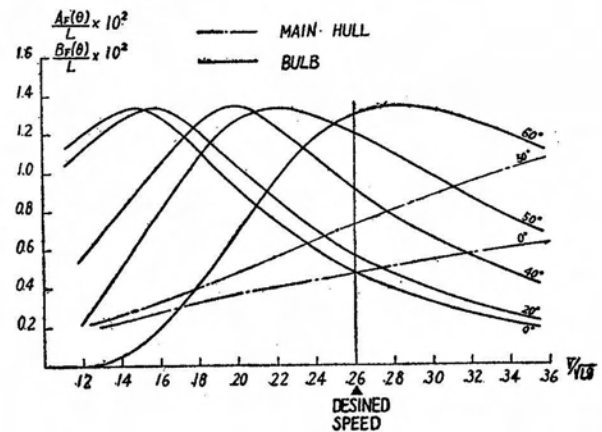
$$A_F(\theta) = \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \frac{U(K_0 T, \theta) \sec^2 \theta}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2}$$

で、船型 C-101 の $F=0.250$ ($K_0 L=16$) における $A_F(\theta)$ を示すと第1図 (a) のようになる。 $A_F(\theta)$ は速度とともに大きくなり、速度による変化は第2図に示す。素成波のうち θ がほぼ $0^\circ \sim 35^\circ$ の間のは横波を構成し、 35° 以上のものは発散波を構成する。なおU型の Frame Line に対してV型の Frame Line では横波の成分が小さくなる。また浅喫水のものは深喫水のものに比較して $A_F(\theta)$ の値は小さいが、横波に対する発散波の割合が大きい。

1.2 バ ル ブ



第1図 C-101F における船首とバルブの造る波の振幅関数の関係



第2図 速度と振幅関数の関係

前論文の球状船首船型での波形分析の結果からバルブの波は単純に Doublet の波で置換えて実用上差し支えないことがわかった。この Doublet の波は船首尾から出る波と逆位相で、造波干渉を行なわせるのにもつとも適当である。本論文では船首波を取扱っているが、理想流体に関する限り、船尾波についても船首波と全く同様に取扱うことができる。粘性のある実在の流体では船首波と船尾波とを比べて

- i) 前者の方が波高が大きく、造波抵抗に対する寄与もより重大である。
- ii) 実験的にも船首の方が船側において波形の観測が容易である。
- iii) 船首の方がバルブによる形状抵抗が小さく、造波現象に対する粘性影響が少ない。

などの理由によつてまず船首バルブについて考える。

進行方向を x 軸の負の方向にとつて、軸の方向がそれと一致する、深さ f の位置にある Doublet による自由波は

$$\zeta_{wD}(x, y) \sim -\frac{MK_0^2}{\pi V} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sec^4 \theta \exp(-K_0 f \sec^2 \theta) \sin(K_0 \sec^2 \theta x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \quad x > 0 \quad (1.4)$$

ここで M は Doublet の強さで、軸対称の3次元流れでは球に対応し、その半径 a_0 との間には $M=2\pi a_0^3 V$ の関係がある。このようなバルブを球型バルブと呼ぶ。その振幅関数は

$$B(\theta) = \frac{MK_0^2}{\pi V} \sec^4 \theta \exp(-K_0 f \sec^2 \theta)$$

となる。

さきに求めた船型 C-101 の船首波に対して、Waveless の状態をねらう計画の速度を $K_0 L=15$ ($F=0.258$)

として、主船体の船首波の振幅関数と完全波消しの振幅的条件を満たすように Doublet を定めると、中心の深さは $f/T=0.8$ 、強さは対応する球の半径を a_0 であらわして $a_0/L=2.7\%$ となり、その $K_0L=16$ ($F=0.250$) に対する振幅関数は第1図のようになる。なお主船体とバルブの複合系（船首部だけについて考えた）の造波抵抗は、前論文付録 (3.3) 式にみるように

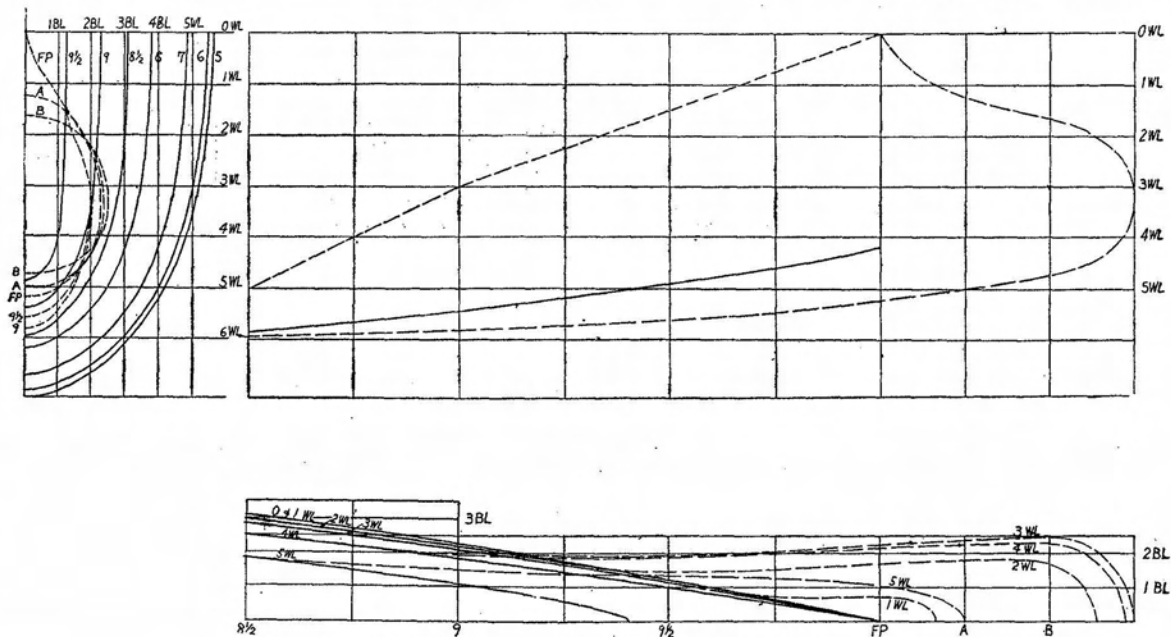
$$R_w = \pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta d\theta$$

で与えられ、(振幅関数)² に $\cos^3 \theta$ がかかるから、第1図 (b) にみるように θ の大きいところでの振幅的条件は緩和される。

いまは $F \approx 0.26$ の速度において主船体と造波干渉の振幅的条件を満たすようにバルブをきめたが、主船体とバルブの振幅関数は第2図にみるよう速度に対する増減の傾向が相反する。Waveless Hull Form なるものがすべての速度に対して Waveless の状態が成立するというものでないことに十分注意する必要がある。

なお Doublet は深さ方向に分布させた場合でも、自由波の位相は Point Doublet による波とほとんど変らない。したがって主船体と振幅的条件を満たすように適当に Doublet を分布させて、その分布に対応する形状のバルブを設計すべきである。一般に $F \geq 0.25$ の中、高速域では玉ねぎ型ないし球型バルブ、 $F \leq 0.25$ の低速域ではらつきよう型バルブが適当な形状となる。このことは従来経験的に漠然といわれてきたことを理論的に裏づけたものと考えられる。

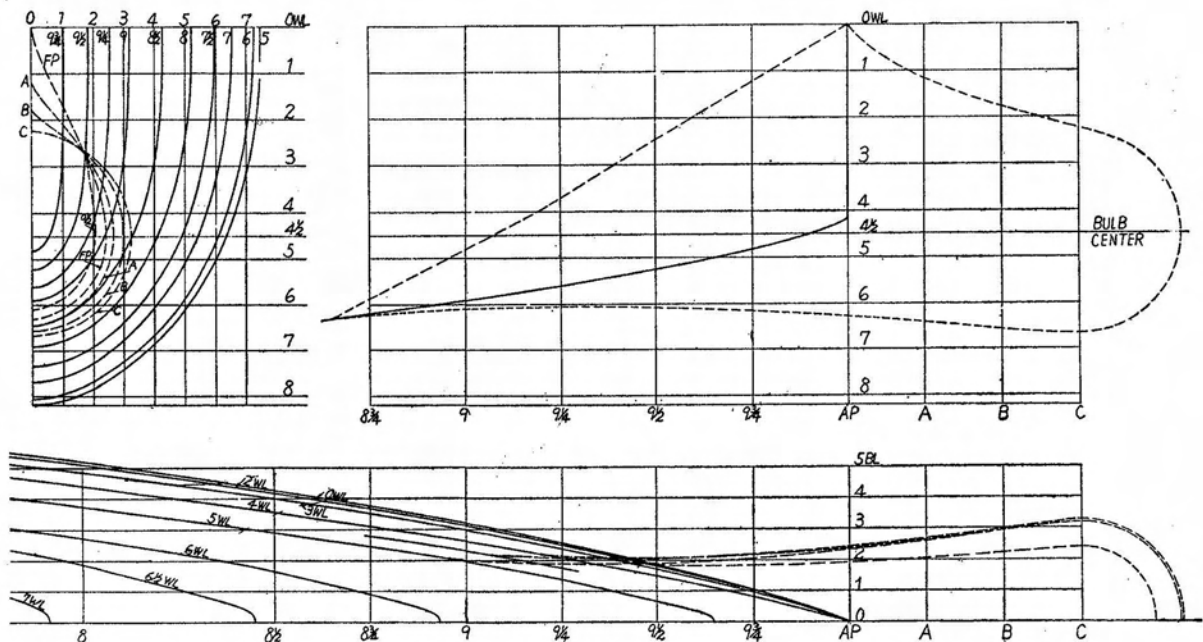
さて上記球型バルブを主船体の船首に組合わせて得られた船型が第3図に示す C-101F である。バルブの形状については、主船体にとりつけるのに要した Fairing 部分の排水容積を除いたバルブ自体の有効排水容積が、Doublet に対応する球のそれにほぼ等しくなるようにした。Doublet の強さと形状との間の対応が正しいか否か



第3図 C-101F

は次の項に述べる波形測定ならびに波形分析によつて確かめることができる。なお船型 C-101F はバルブの頭部の曲率中心が主船体の FP 位置より 4% 前に進めてある。これは主船体の船側波形測定の結果、船首波の位相が $F \leq 0.4$ の速度域で理論値に対して 3~6%L 前進していることが確かめられたので、逆位相の条件を正しく成立させるために行なつた処置である。船首波の位相は無限喫水の船型では正しく理論と一致する⁽³⁾にもかかわらず、喫水有限の場合は、実際の波形は位相がこのように前進する。これは特に位相的条件を根拠とする Waveless Hull Form の場合重大な問題であるが、高速域では波長に比べてズレの量が小さいから条件が緩和される。またこのようにバルブの位置を前に進めてズレを補正したものでも、波形、抵抗ともに予測した Waveless の状態の値によく一致する。位相のズレの原因は、波形の理論計算では、船体表面での境界条件の、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、この点については理論的補正の方法を検討している。

また船型 C-201 について計画速度 $K_0L=14$ ($F=0.267$) をねらってバルブの設計を行なったものが第4図に示す C-201F2 である。



第4図 C-201F2

主船体の C-101, C-201 の模型の寸法は、波形観測および抵抗試験の精度を向上し、またステレオ写真装置による波形観測のさい、水面にアルミ箔粉を散布するので、そのために水面の表面張力が変化することによる影響を最小限にとどめることを考慮して、本水槽で使用する模型寸法の最大値、長さ 2.500 m を選んだ。なお散布したアルミ箔粉による表面張力の変化は、測定の結果ほとんど無視しうることがわかった。主船体およびバルブはいずれも鋳製で、バルブは主船体と別個に製作し、バルブ付きの実験のさいに取付ける。

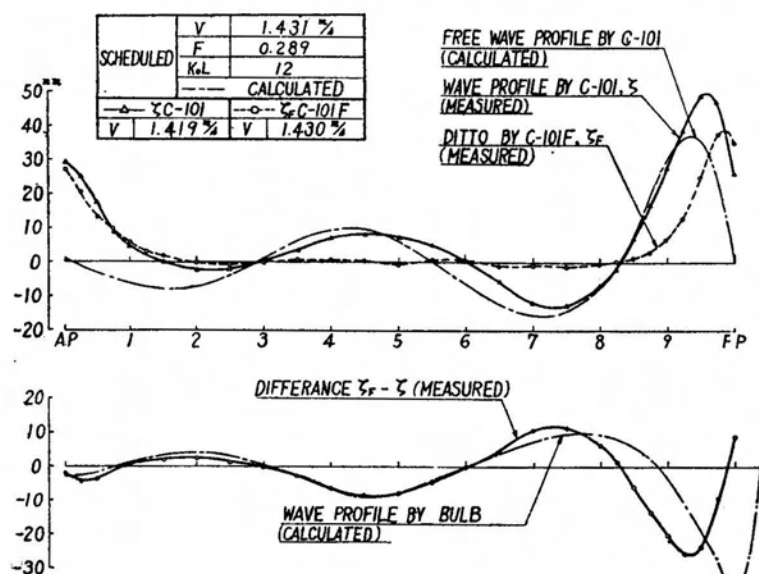
波形測定ならびに抵抗試験のさいの船の状態については、実験がバルブの直接効果を観察する点に主眼を置くものであるから、前論文 3 にならって喫水一定の条件によった。したがってバルブをつけた模型はそれだけ排水容積、浸水面積が増加する。抵抗試験にさいしては層流影響を除くため前回の実験と同じ Plate Studs による乱流促進法を採用した。

2. 波形の測定と分析

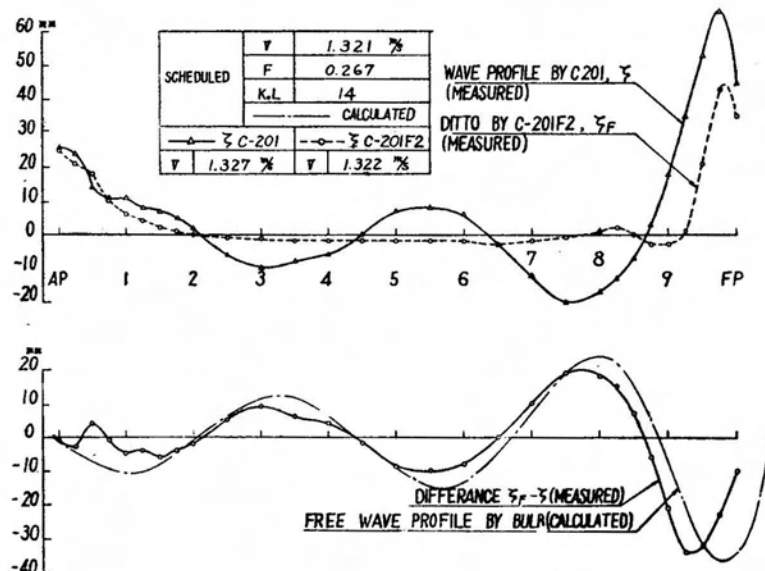
主船体とバルブの造波干渉の機構にあずかるのは、それぞれの造る波の自由波成分である。波形の測定によって求められるのは、この自由波成分に局部波が加わったものである。波形分析においては局部波をも含めた理論波形の計算と波形測定とは車の両輪のごとく並行して行うべきものである。

今回の水槽試験では波形は観測の容易な横波を主体とし、ステレオ写真は波が打消された状態の確認に用いた。横波はあらかじめ計画した速度における船側波形を写真撮影し、船側に入れた方眼によつて波高を読む。主船体の波をその理論値と比較するとともに、バルブの有無による波高差を求めてバルブの波の理論値と比較する。波形の理論値のうち局部波については膨大な量の計算を必要とする。現在さしあたり必要な部分の計算を電子計算機によつて行なっている。今後船型試験において、たんに力形で積分された結果としてあらわれる抵抗値を測定するだけでなく、造波機構を物理現象として観察するためには、波形分析が重要になる。そのためには波形計算用の数表（造波抵抗計算用の数表とも密接な関係がある）を完備する必要がある。船型試験水槽委員会の造波抵抗小委員会においてその計画が立てられている。

船型 C-101, C-101F, および C-201, C-201F2 の船側波形測定の結果の一例を第5図、第6図に示す。これらの図で主船体ならびにバルブの理論値は局部波を除いた自由波成分のみを示す。さきに述べたように測定された船首波は理論波形より約 3~6%L に相当するだけ位相が前進しているが、測定波形に正しく逆位相となるように配置したバルブの波形は、測定波形と理論波形とはよく一致し、前論文で得られたバルブの波が単純に



第 5 図



第 6 図

Doublet の波で置換えるという結論を確認した。C-101F は $F=0.289$ ($K_0L=12$) の速度で、C-201F2 は $F=0.267$ ($K_0L=14$) の速度で船側波形が全く平たんとなり、バルブの効果によつて横波が完全に打消されている。

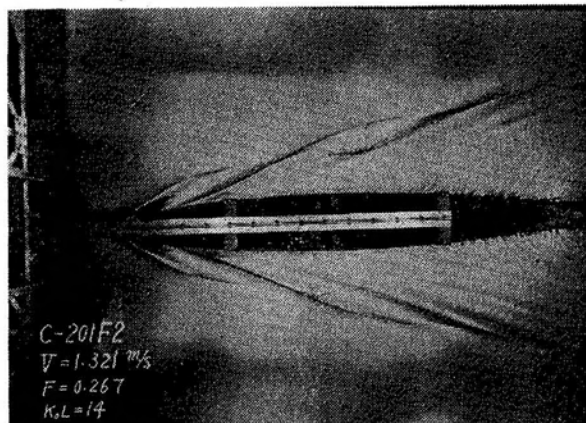
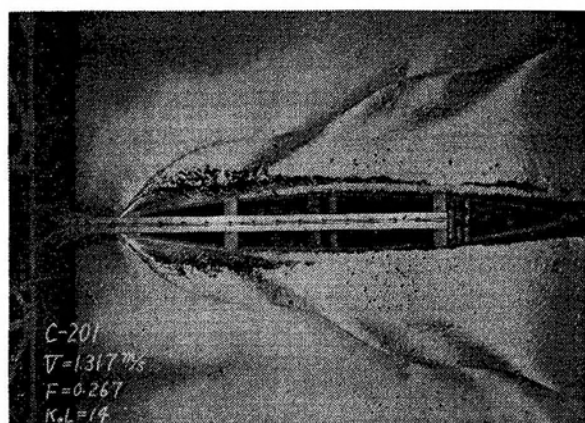
船の造る波を横波、発散波を含めた全波形について、その波模様と同時に波高の測定を行なうのにもつとも適切な方法はステレオ写真装置の利用である。水槽の水面にアルミ箔粉（メッシュ 150~170）を散布し、適当な照明をほどこして、写真倍率を等しく調整したひずみの少ない2台のカメラで同時撮影したものをステレオ写真解析器 Stereotop にかけて解析を行なう。撮影は船側波形の場合に比べてはるかに面倒ではあるが、水槽試験における波形測定に有効に利用するという見通しをえた。第7図に C-201 にバルブを付けた場合と付けない場合の波形を対比して示した。これによつてもバルブによつて船首波が打消され、横波は顕著に減少し、縦波もかなりの程度まで減少している様子を十分に察知することができる。

3. 抵抗試験

3.1 バルブによる造波抵抗減少量の理論計算

前論文附録 3, 4 に示されたバルブ

をつけた場合の造波抵抗減少量の計算方法に従つて船型 C-101F の造波抵抗を求めてみる。



(a) C-201 (Without Bulb) $V=1.321 \text{ m/s}$ (b) C-201F2 (With Bulb) $V=1.317 \text{ m/s}$

第7図 バルブの有無による波形の比較 計画速度=1.321m/s ($F=0.267$, $K_0L=14$)

まず理想流体の場合を考える。主船体の造波抵抗は F 数に対して非振動的に単調に増加する基本項と、正負に振動する干渉項とに分けることができ、特に $F \leq 0.35$ の造波抵抗については簡易計算法⁽⁴⁾が適用できる。計算の結果を第8図の曲線①で示す。Cos 船型では波は船首尾から出る2つだけで、基本項(曲線①)はこの2つの波について個々に計算した造波抵抗の和となる。すなわち船首尾の波の振幅関数を $A_F(\theta)$, $A_A(\theta)$ とすれば

$$\begin{aligned} \text{基本項} = & \pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} \{A_F^2(\theta) \\ & + A_A^2(\theta)\} \cos^3 \theta d\theta \quad (3.1) \end{aligned}$$

船首にバルブをつけた場合は、バルブの振幅関数を $B_F(\theta)$ として

$$\text{基本項} = \pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} \{[A_F(\theta) - B_F(\theta)]^2 + A_A^2(\theta)\} \cos^3 \theta d\theta \quad (3.2)$$

となり、船首波の受けもつ造波抵抗は第1項のように減少する。第1図(b)に(3.1), (3.2)式の船首波についての被積分関数を示してある。この曲線と横軸とでかこむ面積①, ②が船首波の受けもつ造波抵抗に比例する。主船体の基本項がわかっていれば、各速度における面積①, ②の比を求めることによって簡単にバルブをつけた場合の基本項(第8図曲線②)を求めることができる。

干渉項は主船体については

$$\text{干渉項} = 2\pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} A_F(\theta) A_A(\theta) \cos(K_0 L \sec \theta) \cos^3 \theta d\theta \quad (3.3)$$

となる。船首にバルブをつけた場合は

$$\text{干渉項} = 2\pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\} A_A(\theta) \cos(K_0 L \sec \theta) \cos^3 \theta d\theta \quad (3.4)$$

となる。ところで干渉項は主として船首尾の波の横波の成分の干渉によつて生ずる⁽⁵⁾。この横波の干渉については前論文付録1の2次元の干渉の説明がほぼ適用できる。ただ位相については $K_0 L > 5$ ($F < 0.45$) の制限のもとに適用できる次の漸近展開⁽⁴⁾

$$\int_0^{\pi/2} \cos(K_0 L \sec \theta) \cos^{2n+1} \theta d\theta \sim \left(\frac{\pi}{2K_0 L}\right)^{1/2} \cos\left(K_0 L + \frac{\pi}{4}\right) \quad (3.5)$$

の関係から、抵抗曲線は位相が $\pi/4$ だけ進んだ形となる。干渉項に寄与するのが主として横波の成分であるとすれば、バルブをつけたことによつて、干渉項の振幅がほぼ

$$\left| \frac{A_F(\theta) - B_F(\theta)}{A_F(\theta)} \right|_{\theta=0}$$

の比で減少すると考えてよい。すなわち

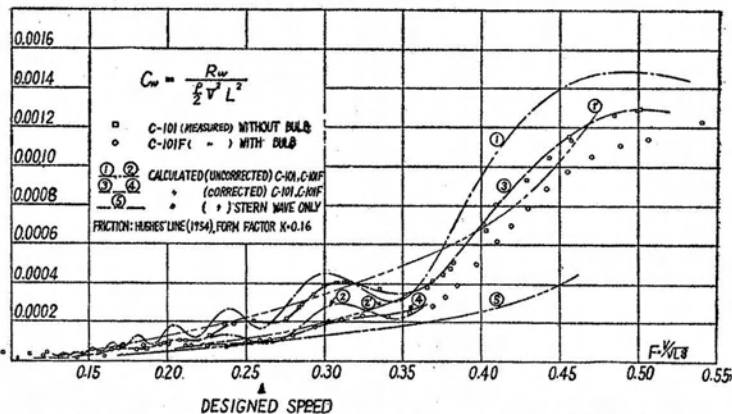
$$\int_0^{\pi/2} A_F(\theta) A_A(\theta) \cos(K_0 L \sec \theta) \cos^3 \theta d\theta \sim |A_F(\theta) A_A(\theta)|_{\theta=0} \cdot \left(\frac{\pi}{2K_0 L}\right)^{1/2} \cos\left(K_0 L + \frac{\pi}{4}\right) \quad (3.6)$$

$$\int_0^{\pi/2} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\} A_A(\theta) \cos(K_0 L \sec \theta) \cos^3 \theta d\theta$$

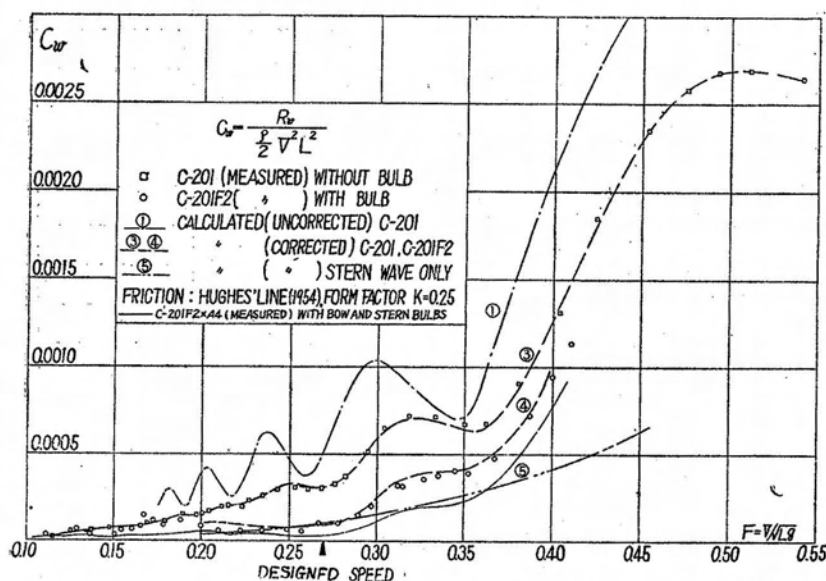
$$\sim \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\} A_A(\theta)|_{\theta=0} \cdot \left(\frac{\pi}{2K_0 L}\right)^{1/2} \cos\left(K_0 L + \frac{\pi}{4}\right) \quad (3.7)$$

このようにして船首にバルブをつけた場合の抵抗曲線を求めると例えば C-101F については第8図曲線②のようになる。この例では計画速度域 $F \approx 0.26$ で抵抗はほぼ船尾波だけの抵抗にまで減少するとともに干渉項の振幅も大幅に減少している。

粘性のある実在の流体に対する場合の取扱いも全く同様である。まず主船体について文献(2)の方法にならつて粘性修正を施す。特に船尾波の振幅が粘性の影響によつて $\beta(<1)$ をかけた値に減少する。したがつて例え



第8図 主船体(C-101)ならびに船首にバルブを付けたC-101Fの造波抵抗(理論値と実験値との比較)



第9図 主船体 (C-201) ならびに船首にバルブを付けた C-201 F2 の造波抵抗 (理論値と実験値との比較)

付けた船型で完全波消しが成立する計画の速度域では、干渉項は消えて Hump-Hollow がなくなり、造波抵抗は船尾波だけの抵抗に等しいところまで減少している。

4. 在来の船型との比較

最後に実験結果について従来の船型学の立場からする説明に対してその誤りを指摘するとともに、在来の船型との比較を行なってみる。

バルブによる抵抗減少の効果が、バルブによつて有効造波長さが延びるという説が誤りであることは既に指摘されたが、今回の供試船型では船首でバルブがつき出ているため、水中部分の船の長さが長くなっている。しかし抵抗減少の効果をこの有効長さが長くなったためであるとするのは誤りである。この長さは主船体とバルブの位相的条件によつて定まるもので、長さをさらに長くすれば、完全波消しの条件がくずれ、抵抗は増加する。また抵抗曲線がたんに有効長さが増しただけ F 数がずれた結果とは全く異なり、たとえば計画速度域では Hump-Hollow が消えている。これは船首波が造波干渉によつて消えたことを実証するものである。

在来は各種船型について排水量と速度とによつてほぼ造波抵抗最小の船型が求められたとしているが、まだ造波抵抗ゼロとはなっていない。供試船型では船首波による造波抵抗はほぼゼロに等しく、理論的に可能な限界に到達している。船尾波による抵抗はまだ残っているわけであるが、それにもかかわらず、在来の船型で船体抵抗について Best Form と考えられるものと比較して大幅な抵抗の減少が得られる。

第 2 表

	A	C-201 F2	B	C-101 F	C	D
$\Delta(t)$	5,200					
$\nabla/(L_{WL}/10)^3$	6.310	6.220	4.540	4.139	2.803	2.113
$\nabla/(L_{oa}/10)^3$		4.850		3.475		
$L_{WL}(m)$	93.023	93.550	103.72	107.00	121.92	142.58
$L_{oa}(m)$		101.50		113.45		
$F=V/\sqrt{L_{WL}g}$	0.260					
C_w	0.00850	0.00255	0.00750	0.00397	0.00625	0.00475
B/L_{WL}	0.1885	0.1208	0.1601	0.0904	0.1256	0.0993
T/L_{WL}	0.0645	0.0752*	0.0548	0.0634*	0.0430	0.0340
T_M/L_{WL}		0.0984		0.0859		

$$C_w = R_w / (1/2 \rho V^2 \nabla^{2/3})$$

※ Draft at FP T_M =Draft at Midship

ば船首波の完全波消しが行われて、船尾波だけの抵抗が残った場合の抵抗値は理想流体の場合の抵抗値の β^2 倍に減少する。干渉項については、船首波の波高が粘性影響で $\gamma (<1)$ 倍に減少する。C-101 について粘性修正をほどこした抵抗曲線を第 8 図 ③ (主船体)、④ (船首バルブ付き) で示す。また曲線⑤は船首波が完全に消え、船尾波の抵抗だけが残った場合を示す。

全く同様にして船型 C-201 F2 の場合を求めれば第 9 図のようになる。

3.2 実験結果

第 8 図、第 9 図にみるように実験結果は粘性修正をほどこした抵抗曲線によく一致している。船首にバルブをつ

例えば山県博士の船型学 p.43 に示された, Δ の一定値 5,200t にたいして L_{WL} を異にする 4 種の船型 A, B, C, D と比較すると, 排水容積長さ比の大きさの順序に配列して $C_w = R_w / \left(\frac{1}{2} \rho V^2 L^{2/3} \right)$ は第 2 表のような値になる。この場合長さとしては特に条件を Severe にとつて, Cos 船型は L_{oa} (バルブを含めた全長) をとり, 対象船型は L_{pp} をとつた。表にみるように普通船型に比較して造波抵抗は著しく減少している。

さらに具体的に実船の場合について EHP の値で比較を行なつてみる。比較の対象としては Todd-60 Series⁽⁶⁾ による船型をとりあげた。両者の排水量を等しくし, 排水容積長さ比 (この場合も C-201F2 は L_{oa} をとり, 対象船型は L_{pp} をとつた) をほぼ等しくして, 両者の速度ベースによる EHP を比較したものが第 10 図である。

む す び

この論文を通じて次のことが明らかにされた。

(1) 前論文の実験では主船体が実用船型であるため, その船型条件が明らかでなく, 波形や造波抵抗を理論的に求めることができなかった。また模型の寸法も小さく測定の精度も十分でなかった。今回は船型条件の明らかな理論船型を主船体を選び, 模型の寸法もできるかぎり大きくし, それに前回よりもさらに大きなバルブを付けて実験を行なつた。この実験によつて位相の関係はもちろん, 振幅の関係についても, バルブを Doublet と考えて取扱つてよいこと確認した。

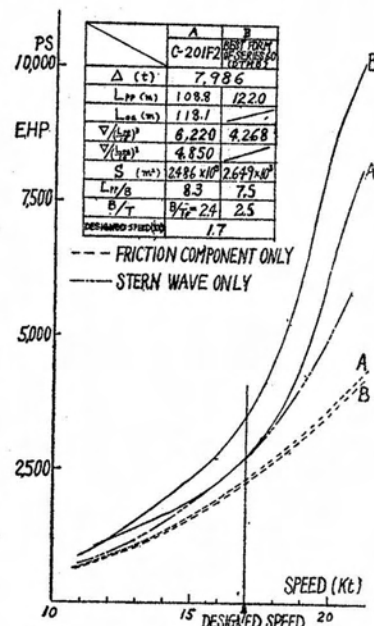
(2) Waveless Bow さらには Waveless Hull Form すなわち造波抵抗ゼロ船型の実現の可能性を実験的に確かめることができた。実際船首波については 2 種の船型 C-101F, C-201F2 において完全波消しの状態を実現させることができた。

今後は本研究の成果を各種実用船型に応用する問題について研究を進めたいと考える。また現在ステレオ写真装置による波形測定, 電子計算機による波形計算を行なっているため, 次の機会にこれらの結果について報告する予定である。

最後に本研究の実施にあたつて終始熱心な御指導と御援助とを賜つた乾 崇夫教授に深く感謝するとともに, 実験実施に尽力された東大船型試験水槽の各位ならびに熊野道雄, 梶谷 尚, 多賀野寛の三氏に対し厚く御礼申上げる次第である。

文 献

- (1) 乾・高幣・熊野：球状船首の造波効果に関する水槽試験 昭 35.11 造船協会秋季講演会発表予定
- (2) T.Inui: A New Theory of Wave-Making Resistance Based on the Exact Conditions of the Surface of Ships, J.Soc. N.A.Japan, Vol.93 (1953).
- (3) 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 (1956)。
- (4) 乾・岩田・沈：造波抵抗のハンプホローについて, 造船協会論文集 97 号 (1955)
- (5) 乾 崇夫：造波抵抗の成分について, 造船協会会報 77 号 (1955)
- (6) F.H.Todd, P.C.Pien: Series 60-The Effect upon Resistance and Power of Variation in LCB Position. TSNAME Vol.64 (1956).



第 10 図