

(昭和 38 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

第一種ウェーブレス船型の実用化に関する研究

正員 池畠 光尚*

正員 梶谷 尚*

A Study on the Practical Development of Waveless Form Theory of the First Kind
By Mitsuhsisa Ikehata, Member
Hisashi Kajitani, Member

Summary

Three kinds of 'Waveless Form theory¹⁾ are at present schemed at the ship model basin of University of Tokyo. The first one is the theory that waveless hull may be given by using bulb to the simplified main hull, while the second one is the theory that the least wave making condition will be realized by the complicate wave interference due to complicate hull geometry. The last one is the combined idea of the above-saying two theories.

As the result of the basic research²⁾ concerning to the theory of the first kind, the hull form with the bulb of the smallest size and of the least projection outward from the main hull has been strongly desired for practical application from the structural and the operative point of view.

After discussing the possibility of these desires, experiments are made to assure using mathematical hull forms (named U-series models), of which source distribution is uniform for draftwise direction. However these U-series models have more or less curved bottoms, so further experiments are needed to verify that the waveless form could be realized even with a conventional flat bottom hull. On the other hand the wavemaking effect³⁾ of the lower part near the midship is believed to be comparatively small. Therefore the authors adopted UF-series models to examine for flat bottom hulls, cutting off artificially the bottom of U-series models.

Further approximate approach is required for such a shallow draft ship as a coaster or a ferry boat. As an example, the SEIKAN-ferry boat is served for further approximation, only keeping the load waterline of fore-half body exactly the same as given by the stream-line calculation of planned source distribution.

東大水槽で行なわれてきた“波形分析”⁴⁾による造波現象の解明を、バルブによるウェーブレス船型の実用化に関して適応した結果について報告する。

1 船型と造波特性

バルブによる Waveless Form の実用化にあたつては、バルブの大きさはできるだけ小さく、また船首より突出しないことが望ましい。そのためには主船体の作る波が小さく、その発生点がなるべく後方にずれるものでなければならない。この条件をかなえ、しかも第一種ウェーブレス船型として望ましい単純な造波特性をもつ吹き

出し分布関数として、Fig.1 に示す座標系のもとで、次のようなものが考えられる。

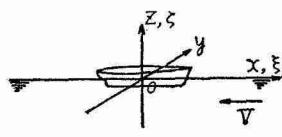


Fig. 1

ただし

$$m(\xi, \zeta) = f_1(\xi) \cdot f_2(\zeta) \cdot V \quad (1)$$

$$\xi = x/l = 2x/L, \zeta = z/T \quad (2)$$

$$f_2(\zeta) = 1 \quad 0 \geq \zeta \geq -1 \quad (3)$$

$$f_1(\xi) = a_1 \xi - a_n \xi^{n-1} \quad 1 \geq \xi \geq -1 \quad (4)$$

$$n = 2, 3, 4, 5, 6$$

ここに L および T はそれぞれ吹き出しの分布長さおよび分布深さを表わす。

船体のはるか後方における船首自由波 $\zeta_{WF}(x, y)$ を求めると

$$\zeta_{WF}(x, y)/L \sim \frac{1}{\pi K_0 L} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \{A_F(\theta)/L\} \cdot \sin\{K_0 \sec^2 \theta (l - x + h(\theta) \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta \quad (5)$$

ここに

$$\{A_F(\theta)/L\}^2 = \left(\frac{U}{\pi K_0 L} \right)^2 \cdot \{S_F^2(\theta) + C_F^2(\theta)\} \quad (6)$$

$$h(\theta)/L = \tan^{-1}\{C_F(\theta)/S_F(\theta)\}/K_0 L \sec \theta \quad (7)$$

$$U = 1 - \exp(-K_0 T \sec^2 \theta) \quad (8)$$

$$S_F(\theta) = m_0 - \frac{m_2}{(K_0 l \sec \theta)^2} + \frac{m_4}{(K_0 l \sec \theta)^4} - \dots \quad (9)$$

$$C_F(\theta) = \frac{m_1}{(K_0 l \sec \theta)} - \frac{m_3}{(K_0 l \sec \theta)^3} + \frac{m_5}{(K_0 l \sec \theta)^5} - \dots \quad (10)$$

$$\left. \begin{array}{l} m_0 = f_1(1) \\ m_1 = f_1'(1) \\ m_2 = f_1''(1) \\ \vdots \\ m_n = f_1^{(n)}(1) \end{array} \right\} \quad (11)$$

一般の3次元波は \sin 波系と \cos 波系から成立つてゐるが、(5)式はこれを \sin 波系にまとめたものとであり、したがつて $A_F(\theta)$ は合成された船首波の振巾関数、また $h(\theta)/L$ は船首波の起点が前方にずれる割合を示している（負は後方のずれを示す）。造波抵抗は(12)式に示されるごとく振巾関数によつて決まるから、この

$$R_W = \frac{1}{2} \pi \rho V^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} A_F^2(\theta) \cdot \cos^3 \theta d\theta \quad (12)$$

$A_F(\theta)$ が小さく、かつ $h(\theta)/L$ が負の適當な値になるよう吹き出し分布関数を選べばよい。

実用化の対象としてスパークライナーを選び、これの喫水、排水量、復原力等を考慮して吹き出し分布の深度を $t = 2T/L = 0.08$ ($T/L = 0.04$)

とし、排水量が各々の間でほぼ等しくなるよう吹き出し分布の総量 K

$$K = \text{Total Strength of Source} = \int_0^1 f_1(\xi) d\xi$$

Table 1 Model Number & Source Strength

M. No.	n	m_0	a_1	a_n
U 3	2	.2	3.68009	3.48009
U 5	4	.2	1.93926	1.73926
U 6	6	.2	1.60934	1.40934
U 7	2	.5	2.72725	2.22725
U 9	4	.5	1.63213	1.13213
U10	6	.5	1.41740	.91740

を考慮して、 n , m_0 を Table 1 に示す
よう変化させ、合計 6 隻の系統模型について振巾関数、位相のずれを計算した。
計画速力 $F = 0.277$ での結果をそれぞれ

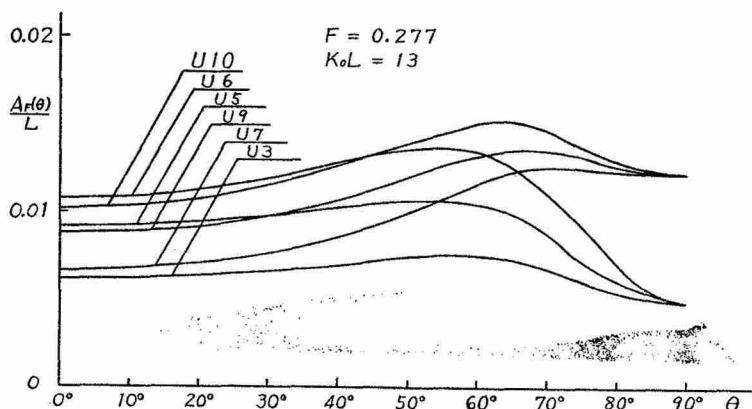


Fig. 2 Amplitude function

Fig. 2, Fig. 3 に示す。すでにウエーブレス船型の基礎的研究から明らかのように、バルブによる後続自由波 $\zeta_{WD}(x, y)$ はその有効半径を a_0 、没水深度を f として次式で近似される。

$$\zeta_{WD}(x, y)/L \sim \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \{B(\theta)/L\} \sin\{K_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta \quad (13)$$

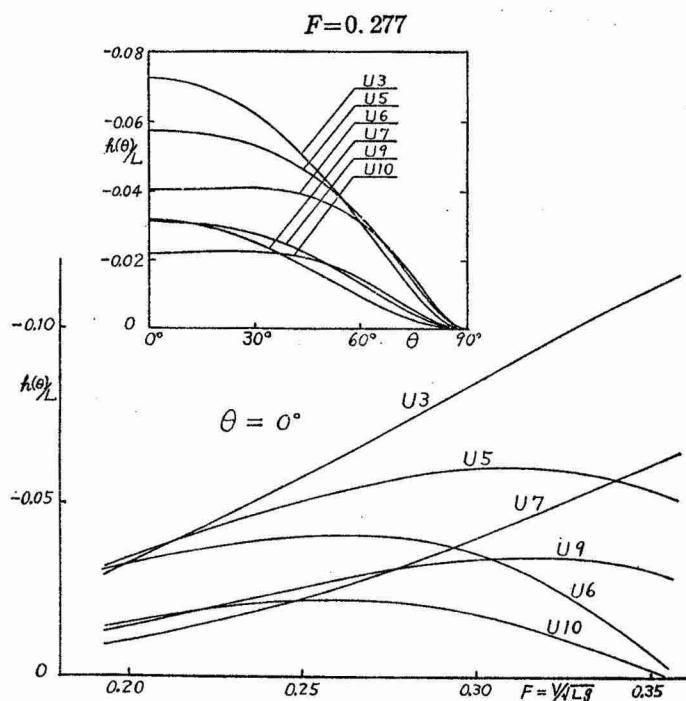


Fig. 3 Phase lag of elementary wave

場合の4隻を系統模型として実験に供した。バルブの設計については、上述の考慮はもちろん $B(\theta)$ と $A(\theta)$ の形を比較検討し、実験結果からの修正を考慮して行なつた。

Table 2 Particulars for U-series Models and Their Optimum Bulbs ($L_{pp}=L_{WL}=2.5m$)

Model No.	$B(m)$	$\nabla(m^3)$	$S(m^2)$	Bulb No.	a_0/L	f/L	x_F/L	$\Delta\nabla/\nabla (\%)$	$\Delta S/S (\%)$	$A_B/A_m (\%)$
U 3	0.380	0.1053	1.290	F 2	0.030	0.05	-0.025	2.49	4.15	21.8
U 5	0.374	0.1074	1.299	F 1	0.034	0.05	-0.010	3.87	6.11	31.6
U 7	0.371	0.1063	1.295	F 1	0.030	0.05	0.030	3.18	7.07	24.8
U 9	0.363	0.1078	1.299	F 1	0.034	0.05	0.035	3.41	7.59	29.2

a_0 =effective radius of the bulb

f =immersion of the bulb center

x_F =longitudinal position of the bulb center (+foreward, -aftward from F.P.)

A_B =max. sectional area of bulb

A_m =midship sectional area

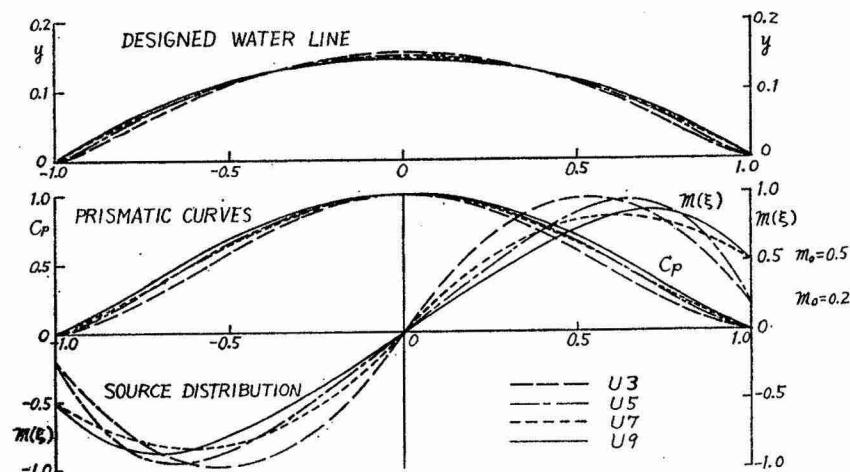


Fig. 4

以上によつて U シリーズの供試船型（並びにバルブ）が計画されたのであるがその主船体を流線追跡法によつて計算した。Fig. 4 に水線形状、 C_p カーブ、吹き出し分布曲線を示す。その主要目を Table 2 に示す。し

$$B(\theta)/L = 2 (a_0/L)^3 \cdot (K_0 L)^2 \cdot$$

$$\sec^4 \theta \cdot \exp(-K_0 f \sec^2 \theta) \quad (14)$$

このようにバルブを Point Donblet で近似する以上主船体の位相のずれ $h(\theta)/L$ は θ ベースでその変化が小さく、同時に F 数ベースでも計画速力付近で変化が小さいことが望ましい。このことから 6 隻の中では U_6 , U_{10} が比較的良好であることがわかる。しかし実際には、波の船体との自己干渉による船首自由波の起点が理論値より 4 %～6 % L 前方にずれる²⁾ことを考慮すればバルブの先端が F.P. より出ないためには U_3 程度の位相のずれが必要であることも明らかである。つぎに振巾関数の小さいものを Fig. 2 から探すと U_3 または U_7 が良好である。結局両方の条件を同時に十分満足するものはないが、また理論と実際とでも若干の差があるので最終的結論は実験にまつほかはなく n が 2 と 4 の

Table 3 Particulars for UF-series Models and Their Optimum Bulbs ($L_{pp}=2.5\text{ m}$)

Model No.	$B(\text{m})$	$V(\text{m}^3)$	$S(\text{m}^2)$	Bulb No.	a_0/L	f/L	X_F/L	$\Delta V/V (\%)$	$\Delta S/S (\%)$	$A_B/A_m (\%)$
UF 3(\times UF 7)	0.380	0.08273	1.170	F 1	0.026	0.042	-0.020	1.95	3.09	20.0
UF 5(\times UF 9)	0.369	0.08386	1.176	F 1	0.030	0.042	0.010	2.99	5.52	29.5
UF 7(\times UF 3)	0.380	0.08273	1.170	F 1	0.030	0.042	0.040	3.92	7.77	28.2
UF 9(\times UF 5)	0.369	0.08386	1.176	F 1	0.030	0.042	0.045	3.71	7.88	29.5
SR 451	0.357	0.08302	1.195							

かしこのようにして得られた船型は船体中央部が底でかなり垂下し、実用船とはなりにくい。本来ならば当初より底部が平坦となる吹き出し分布を計画しなければいけないのであるが、この問題はまだ解決されておらず、一方理論的にも船体中央部の垂下した部分が造波効果におよぼす影響は少なくとも低速では小さいことがわかつており、そこで今回は U シリーズの垂下部を必要な喫水に合わせて切り捨て UF シリーズとした。Table 3 はその主要目である。船体後半部の僅かな変化が造波抵抗におよぼす影響は前半部に較べ小さいので、実際に使用した船型は前半部と後半部を異なつた模型から作り、各々の方向に曳航してそれぞれシリーズに対応の平底船とした。表中の括弧は後半部の模型を示す。ちなみに SR 45 部会で計画した超高速貨物船の原船型⁵⁾の主要目を比較のため挿入した。

このようにして平底部の影響が速度の上昇とともにどのように現われるかを実験的に調べることとした。

一方連絡船のような浅喫水船では上に述べた方法では切り捨てる量が過大となつたり、甲板面積の条件からフレームラインが喫水線で相当斜めに入ることになる。このような場合の近似的な試みとして、造波持性に最も効く喫水線のみを計画の吹き出し分布の流線に合わせ、フレーム形状その他は従来の方法に従うやり方が考えられる。これを青函連絡船に応用してみた。原船型となる在来船型を S 1 とし、これに対し前半部のみを(15)式に示す吹き出し分布関数の水線形状に改めて S 3 とした。

$$\begin{aligned} f_2(\xi) &= 1 - \xi^2 \quad -1 \leq \xi \leq 0 \\ f_1(\xi) &= 5.2585 \xi - 5.0585 \xi^2 \end{aligned} \quad (15)$$

Table 4 Particulars for SEIKAN Ferry Boat Models and Their Optimum Bulbs
($L_{pp}=2.4\text{ m}$, $L_{WL}=2.479\text{ m}$)

Model No.	$B(\text{m})$	$V(\text{m}^3)$	$S(\text{m}^2)$	Bulb No.	a_0/L	f/L	X_F/L	$\Delta V/V (\%)$	$\Delta S/S (\%)$	$A_B/A_m (\%)$
S 1	0.348	0.04843	0.9191	F 4	0.020	0.0302	0.020	2.18	3.74	20.4
S 3	0.3766	0.04741	0.9068	F 3	0.020	0.0302	0.010	2.02	3.18	20.1

S 1, S 3 の主要目は Table 4 に示す。このように実用化の基礎的問題を U シリーズで考え、スーパーライナーへの応用としてこれの垂下部を切り落して UF シリーズを考え、さらに近似的な方法を青函連絡船へ適用し、段階を追つて実用化の問題を調べることにした。以下 U シリーズ、UF シリーズ、青函連絡船についてその実験、波形観測、および理論との比較検討を行なう。

2 実験および解析

2・1 理論船型 U シリーズ

実験に使用した模型は $L_{pp}=2.5\text{ m}$ に統一した木製模型である。各模型の線図は煩雑さを避けるため省略するが、主要目は Table 2 に、水線面形状は Fig. 4 に示してある。なお各横断面の形状は現在までに発表されている他の理論船型と非常に良く似ている^{2), 7)}。

実験はまず主船体について船首波の特性を調べるために、バルブを付かないままで波形撮影と抵抗試験を行なつた。その結果を理論計算から求めた船側波形および造波抵抗と比較して主船体の造波特性が理論的予想とどのように異なるかを摑み、それを基にして最適バルブを設計して実験によりその効果を確めた。乱流促進法として Plate Stud を用い、高さ 1.3 mm、ピッチ 10 mm のものを S.S. 9 $1/2$ に植えた⁸⁾。

吹出し分布が

$$m(\xi) = \sum_{n=1}^N a_n (\xi | \xi^{n-1} |) \quad (0 \geq \xi \geq -t = -T/l) \quad (16)$$

なる形式で与えられているとき、点 $(x, 0)$ 上の理論波高は $K_0 x = u$ とおくと

$$\zeta(u, o) = \sum_{n=1}^N a_n \zeta^{(n)}(u, o) = \sum_{n=1}^N a_n \{ \zeta_l^{(n)}(u, o) + \zeta_w^{(n)}(u, o) \} \quad (17)$$

ただし

$$\zeta^{(n)}(u, o) = \zeta_l^{(n)}(u, o) + \zeta_w^{(n)}(u, o) \quad (18)$$

$\zeta_l^{(n)}(u, o)$: local disturbance

$\zeta_w^{(n)}(u, o)$: free wave

$$\begin{aligned} \zeta_l^{(n)}(u, o)/L &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_{-1}^{u/K_0 l} \xi |\xi^{n-1}| \{ O_{-1}^{(1)}(\bar{u} - K_0 l \xi, o) - O_{-1}^{(1)}(\bar{u} - K_0 l \xi, K_0 T) \} d\xi \right. \\ &\quad \left. - \int_{u/K_0 l}^1 \xi |\xi^{n-1}| \{ O_{-1}^{(1)}(\bar{K}_0 l \xi - u, o) - O_{-1}^{(1)}(\bar{K}_0 l \xi - u, K_0 T) \} d\xi \right] \end{aligned} \quad (19)$$

$$\zeta_w^{(n)}(u, o)/L = \frac{1}{\pi} \int_{u/K_0 l}^1 \xi |\xi^{n-1}| \{ P_{-1}(\bar{K}_0 l \xi - u, o) - P_{-1}(\bar{K}_0 l \xi - u, K_0 T) \} d\xi \quad (20)$$

で与えられる。ここに使用した $O_{-1}^{(1)}$, P_{-1} は別所博士の定義による関数⁹⁾で、岩田博士により詳しい数表が作製されている¹⁰⁾。この数表を用いて $\zeta^{(n)}$, $\zeta_l^{(n)}$, $\zeta_w^{(n)}$ を計算して表にしておけば容易に理論波高が求まる。今回 $n=1 \sim 4$, $t=0.08$ の場合についてこの表を作製した¹⁰⁾。この数表を用いて $F=0.277$ ($K_0 L=13$) について計算した U シリーズの理論船側波形と写真から読みとつた実測船側波形との比較を Fig. 5 に示す。この図でみると理論と実測の波形一致はあまり良好でない。この事は特に $U3$ において顕著である。この不一致の原因と

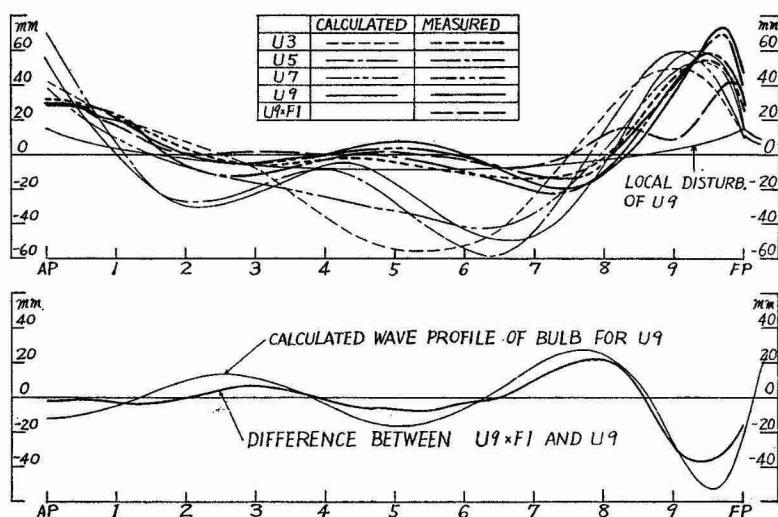


Fig. 5 Wave profile for U -series ($F=0.277$)

して考えられるものを列挙すると、(1) 粘性の影響、(2) $y=0$ Plane 上の理論波高と船側での実測波高を比較することによるもの、(3) 船体表面条件に自由表面条件を考慮していないこと、(4) 非線型の影響、などがあげられる。これらのうちどれが支配的であるのかは今のところ明らかでない。この不一致にもかかわらず 4 隻相互の位相関係は理論と実験との間でよく似ており、実測波形は全体的に前方へずれている。すなわち load water line の hollowness の順序で船首波の位相は後方に遅れている。この点は従来あまり指摘されなかつたことである。また振巾については実測の方が幾分低くなっていることが判る。これらの事を考慮して最適バルブを設計した。バルブ中心の前後位置は理論的に $\theta=0^\circ$ の素成波の位相ずれから求めれば Fig. 3 より各々 F.P. から測つて、 $U3 7.2\% L$ aft, $U5 5.8\% L$ aft, $U7 3.1\% L$ aft, $U9 3.1\% L$ aft であるが、前述した実測波形との相違を考えて $5 \sim 6\% L$ 前方へ出した。バルブ半径と深度は主船体とバルブの振巾函数の形ができるだけ類似しているながら、なるべく浅いところで小さいバルブとなるように決めることが望ましい。 U シクリーズ最適バルブの要目は Table 2 に示す。また参考のためバルブ付 U シリーズの船首部の Profile を Fig. 6 の上部に付しておく。Fig. 5 にはバルブ付 $U9$ ($U9 \times F1$) の実測船側波形および $U9$ との差ならびにバルブの理論波形とが書かれている。 $U9 \times F1$ の船側波形は $U9$ の局部攪乱波にはほとんど一致しており、 $U9$ との差はバルブの理論波形によく一致していて、横波については完全な波消し効果があることを示している。バルブなしおよび

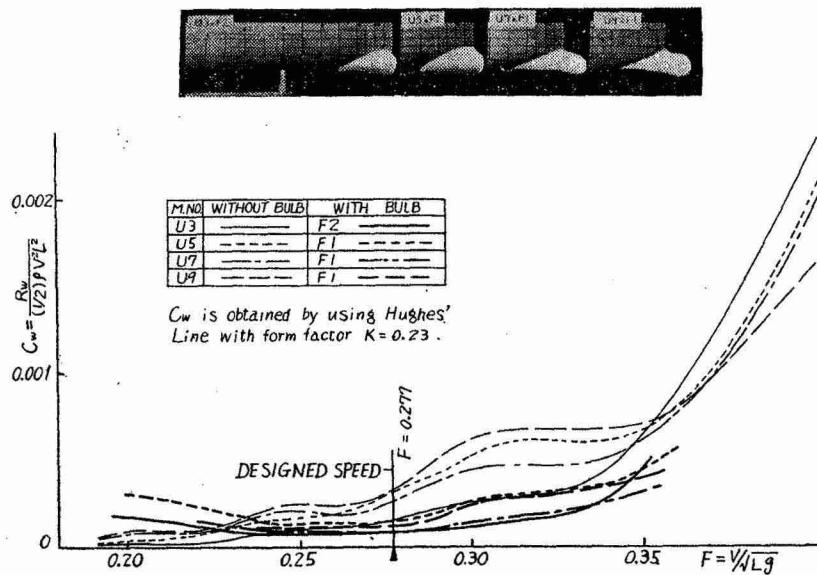


Fig. 6 Wave-making resistance for U-series

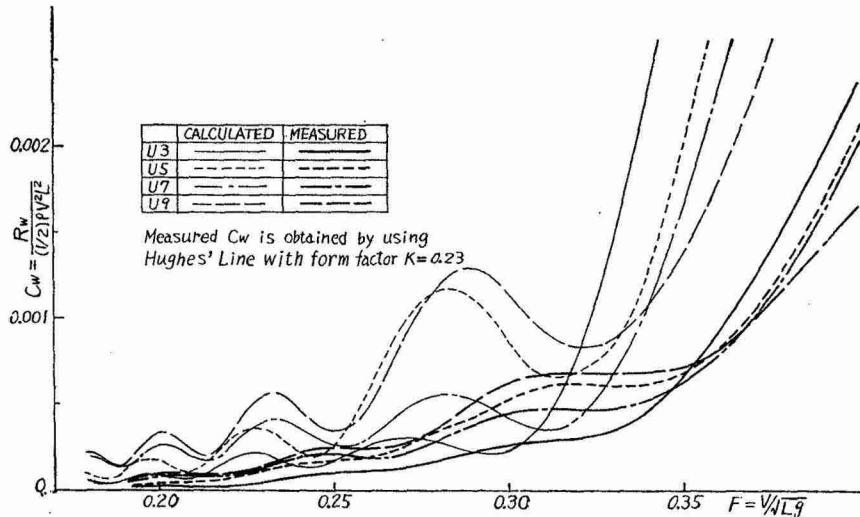


Fig. 7 Measured and calculated wave-making resistance for U-series

バルブ付 U シリーズの造波抵抗係数曲線を Fig. 6 に示す。計画速力 $F=0.277$ において 45~70 % の造波抵抗減少率を示し、バルブの効果は予期どおりに得られたものと思われる。Fig. 7 に主船体のみの造波抵抗係数の理論計算と実験値とを示す。U5 と U7 の関係のように少々複雑なものもあるが、一般的な傾向をみると、 $F < 0.35$ では船首付近の hollowness 順序に従つて造波抵抗が小さく、 $0.35 < F$ では逆転している。また、お互いの間の差は相当大きい。理論値は絶対値および交叉する F 数などが実験値と異なるが、定性的には同じ傾向を示している。このような事実はすでに多くの研究により判明していることである^{11), 7)}。以上の波形と造波抵抗についての考察の結果、load water line の hollowness が船首の造波特性にもつとも密接な関係をもつといえる。したがつて主船体の選択いかんによつてバルブの突出量および大きさを実用制限範囲内におさめ得ることが分つた。

2・2 実用船型 UF シリーズ

使用した模型は $L_{pp}=2.5\text{ m}$ 木製模型であり、rise of floor および bilge circle をとつて平底の端部で角にならないようにしてある。UF シリーズについても U シリーズと同様に波形撮影と抵抗試験を行なつた。UF シリーズの船側波形は U シリーズにくらべて少し乱れており、位相的には前方へ進んだ傾向を見せている。平底化の影響は、船底部にあつた排水量がなくなつたと考えると、平底前半部に吸込みを後半部に吹出しの分布を仮定してやることで置換えうる。その特異点分布を決定するために UF シリーズの船側波形と U シリーズの船

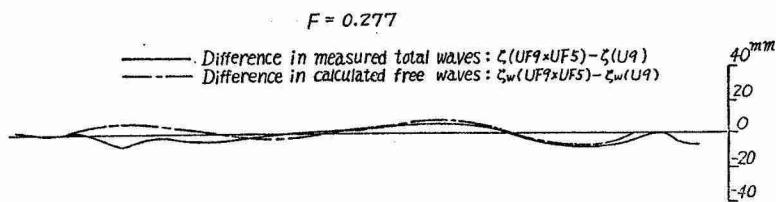
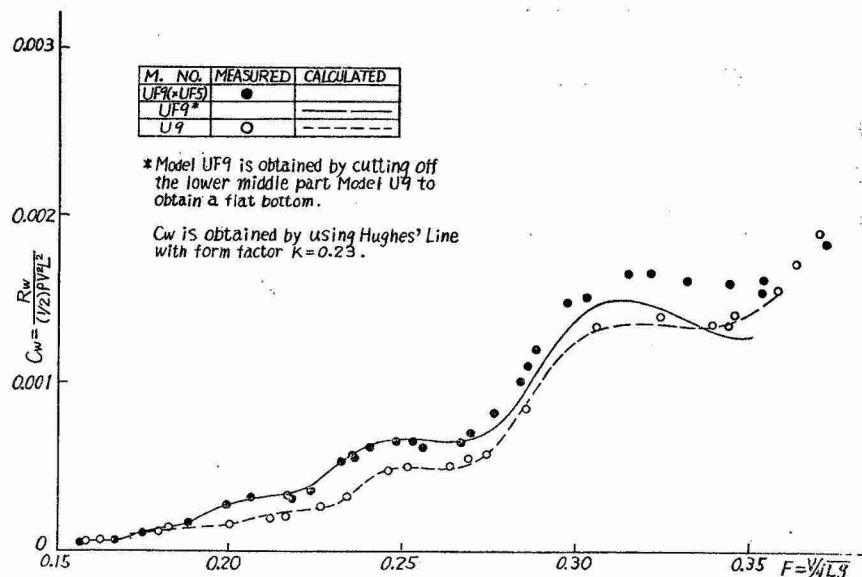


Fig. 8 Flat bottom effect on wave profile

側波形との差をとりだしてみた。Fig. 8 に代表的な場合として $UF9(\times UF5)$ と $U9$ との差を $F=0.277$ について示す。この図をみると平底の先端がある S.S. 9あたりから逆正弦の波形が start しているとみなせる。他の速度他の船型についても同じような傾向がみられる。このような波形を生ずる特異点分布はいろいろ考えられるだろうが、次のよのなもつとも簡単な線状吹出し分布を平底の keel line 上に仮定することによつても近似できることが分つた。

$$n(\xi) = -0.0327 \xi \quad (-0.8 \leq \xi \leq 0.8; \text{at } y=0, z=-0.06L) \quad (21)$$

Fig. 9 Measured and calculated wave-making resistuce for Model $U9$, $UF9(\times UF5)$ and $UF9$

ただし $n(\xi)$ は ξ の点の単位時間あたりの総吹出量 L^2V で除した値である。この線状吹出分布による後続自由波を Fig. 8 中に画いてある。このような近似で船側波形上の差は説明できるが、造波抵抗上の差はどうであろう。このことは $U9$ の吹出分布に上記の付加吹出分布を組合わせて理論計算をしてみれば判明する。その結果を Fig. 9 に示す。この計算値は粘性修正・自己干渉修正・有限波高修正を考慮してある。 $UF9(\times UF5)$ の実験値は正しく $UF9$ 自身のものではないが、十分満足できる一致を見せている。 $UF9$ と $U9$ だけに限らず一般に UF シリーズは $F < 0.35$ では U シリーズよりも造波抵抗係数が高く、 $0.35 < F$ では低くなつてゐる。この事は船側波形の振巾の上にもあらわれてゐる。 UF シリーズの排水量は U シリーズにくらべて相当少ないのであるから注意すべき事実である。

UF シリーズの船側波形は平底の影響で U シリーズのそれより位相が前に進んでゐるので、バルブの中心位置を U シリーズのものよりそれだけ前進させた。バルブの深さについては、主船体の船底よりもバルブの底が深いのは実用上好ましくないのでバルブ中心の深度を浅くし半径を減じたが、なお船底より下にでる部分は取除いて滑らかな形にした。このように設計した最適バルブの要目は Table 3 に、また profile を Fig. 10 の上部に示す。Fig. 10 はバルブなしおよびバルブ付 UF シリーズの造波抵抗係数である。この図からバルブ付船型は計画速力 $F=0.277$ において 40~65% の造波抵抗減少率を示し、十分な効果を見せていることが分る。参考のため SR 45 部会で超高速貨物船用として設計した在来船型 (SR 451) の造波抵抗係数もいつしょに画いてある

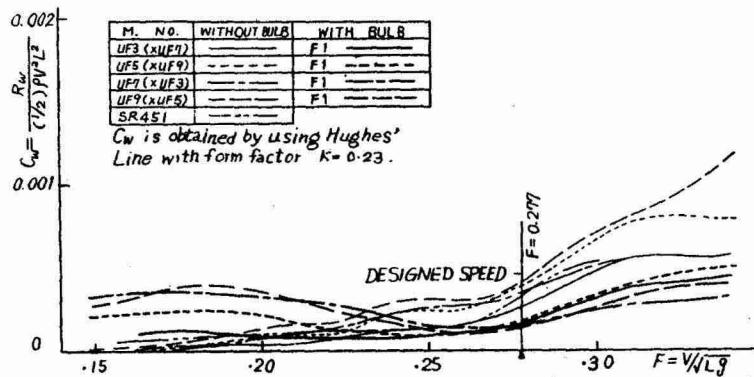
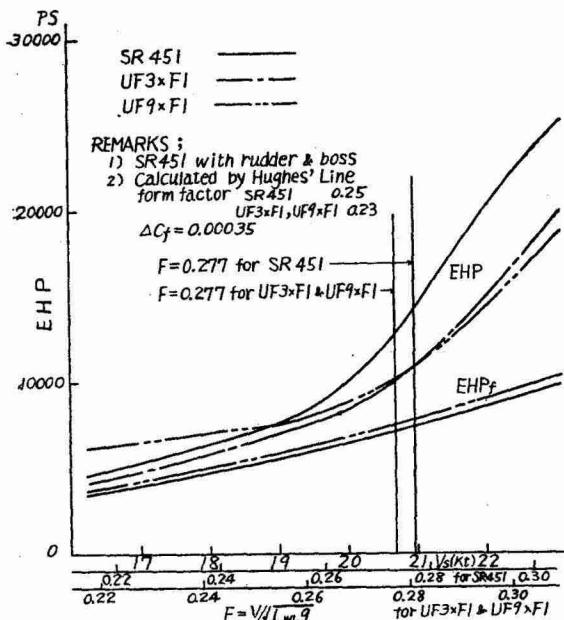


Fig. 10 Wave-making resistance for UF-series

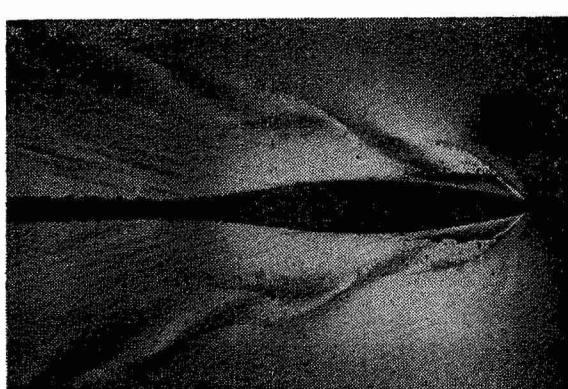
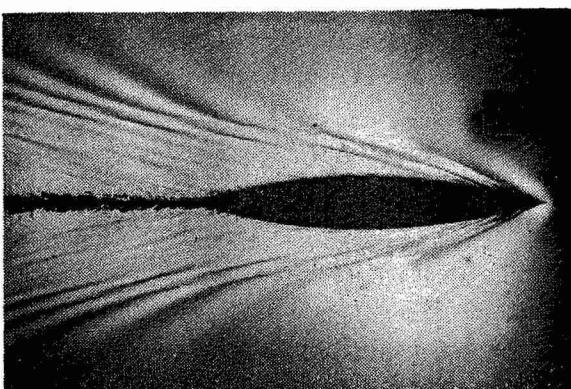
(東大水槽での実験値)。この差をもつと直観的にみるために $UF3 \times F1$, $UF9 \times F1$, $SR451$ の 3 隻について

Fig. 11 EHP for $UF3 \times F1$, $UF9 \times F1$ & $SR451$

$L_{pp} = 150$ m の実船に換算した場合の有効馬力を比較した図が Fig. 11 である。 $V_s = 21$ kt で比較してみると $SR451$ に比し $UF3 \times F1$, $UF9 \times F1$ ともに約 3500 PS の減少を示している(約 24% 減)。Table 3 に示されているバルブの位置および大きさと対比してみると初期の目的は十分達せられているものと思う。参考のために Fig. 12 に $F = 0.277$ の場合の $UF7$ と $UF7 \times F1$ の波紋写真を示す。

2・3 青函連絡船

第一種 Waveless 船型理論適用のための船型 S3 と、比較のため在来船型 S1 とも $L_{pp} = 2.4$ m の木製模型を使用した。実験は前 2 シリーズと同様にして波形撮影と抵抗試験を行なった。S3 の船側波形および波紋の観察により船首波の性質は予期どおり理論船型のそれとかなり類似していることが分つたので、最適バルブの位置および大きさは UF シリーズの場合を参照しながら比較的容易に決定できた。S1 に対しても最適

(a) $UF7$ (without bulb)(b) $UF7 \times F1$ (with bulb)Fig. 12 Wave patterns for Model $UF7$ & $UF7 \times F1$

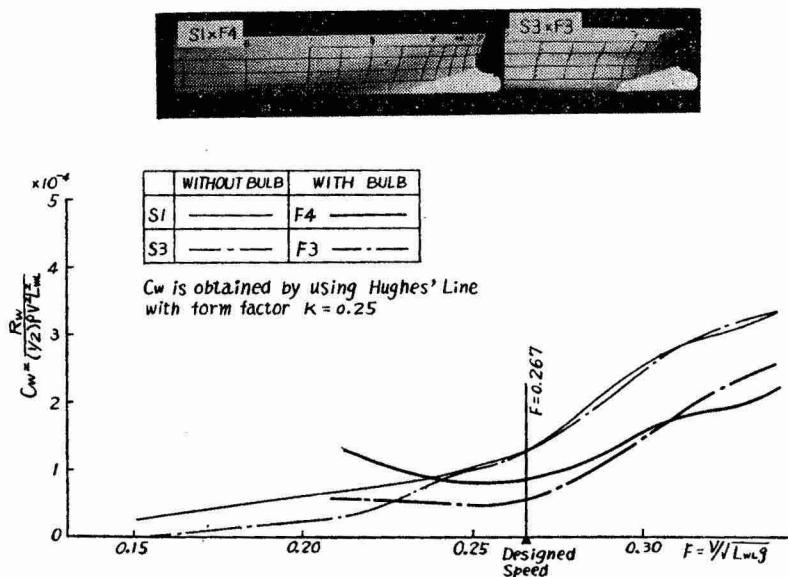


Fig. 13 Wave-making resistance for SEIKAN ferry boats

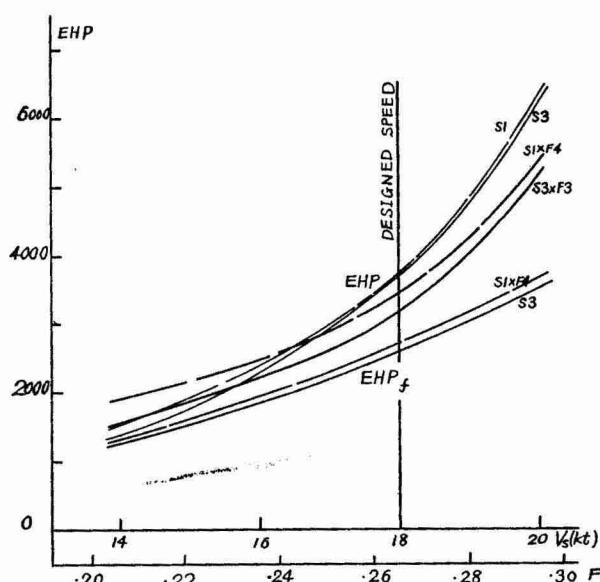


Fig. 14 EHP of SEIKAN ferry boats

バルブを設計し在来船型でどの程度まで船首波が消しうるかを調べ、近似理論船型である S3 に対するバルブの効果と比較してみた。S1, S3 および最適バルブについての要目を Table 4 に示す。バルブ付およびバルブなしの場合の造波抵抗係数の比較が Fig. 13 である。計画速力 $F=0.267$ においては S3xF3 は S3 にくらべて約 55% の造波抵抗減少を示し、UF シリーズと同程度の効果を見せている。一方 S1xF4 は約 30% の造波抵抗減少を得ている。この結果を $L_{pp}=120$ m の実船の有効馬力に換算して比較したのが Fig. 14 である。計画速力 18 kt で S1 にくらべて S3xF3 は約 15%，S1xF4 は約 7% の馬力減少が見られる。これらの結果を waveless bulb の実用化の試金石となつた高速貨客船くれない丸の実験結果¹²⁾とくらべてみると興味深い。

結 言

本研究の結果、第一種 waveless form の実用化に当つて問題となる諸々の点に関して明らかになつた事項を列挙すると

1. 理論船型 U シリーズに対する実験と理論的考察の結果、船型と船首波についての造波特性との対応が明らかになり、船首部付近の load water line の形状が特に支配的であり、船首波の大きさおよび位相差も与えることが判った。その結果 waveless bulb 実用化上好都合な主船体が存在することが分った。
2. Flat bottom の影響を調べ、造波特性上では好しくないものであることがわかった。理論的取扱い方として付加線状特異点分布を考える方法である程度近似できることが分った。
3. 理論船型を実用化した UF シリーズについても実用に適した突出量・大きさとも小さい waveless bulb が可能であり、理論船型と同程度の波消し効果を示すことを確めた。
4. 前半部の load water line のみ理論船型のものと一致させて実用船型を設計し、それを主船体として第一種 waveless 船型理論を適用するという方法を連絡船に応用して十分満足な造波抵抗減少を得た。この際主船体

の造波特性は基礎にとった理論船型のものから類推できるぐらいの相似性を持つことを確めた。

最後に本研究の実施にあたって終始熱心なご指導を賜わった乾崇夫教授に深く感謝いたします。また実験・解析の面で多大のご指導を頂いた田古里哲夫助教授はじめ東大船型試験水槽の職員各位ならびに当時大学院学生であった多賀野寛氏に対して深く感謝いたします。なお貴重な研究資料の提供および助言を頂いた高幣助教授・熊野助教授・別所助教授・岩田技官に心からお礼申上げます。

文 献

- 1) T. Inui, H. Kajitani, K. Kasahara : Minimum wave resistance for the non-bulbous form which is derived from a source continuously distributed on the vertical central rectangular plane, 1963
ミシガン大学の“Int. Seminar on Theoretical Wave-Resistance”において講演
 - 2) 高幣哲夫：Waveless Bow の研究（その1），造船協会論文集 108号（昭35年/12月）
 - 3) T. Inui : Wave-Making Resistance of Ships, TSNAME Vol. 70 (1962)
 - 4) 乾, 高幣, 熊野：球状船首の造波効果に関する水槽試験, 造船協会論文集 108号（昭35年/12月）
 - 5) 第45研究部会「超高速船の運航性能に関する研究」, 日本造船研究協会昭和36年度着手研究報告
 - 6) 熊野道雄：Waveless Stern の研究（その1），造船協会論文集 108号（昭35年/12月）
 - 7) 乾崇夫：Study on Wave-Making Resistance of Ships, 60th Anniversary Series, Society of Naval Architects of Japan
 - 8) 田古里哲夫：各種形状をもつ乱流促進法の効果ならびにその固有抵抗について, 造船協会論文集 110号（昭36年/12月）
 - 9) 別所正利：造波抵抗計算用数表の作製に関する覚書, 造波小委員会資料 [W 1-1]
 - 10) 岩田達三外：船側波形計算用関数表, 造波小委員会資料 [W 4-4], [W 4-5]
 - 11) T. H. Havelock : Studies in Wave Resistance : Influence of the Form of the Water-plane Section of the Ship, Proc. Roy. Soc. A Vol. 103 (1923)
 - 12) 乾崇夫外：高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消しに関する研究（第1報—水槽試験）, 造船協会論文集 110号（昭36年/12月）
-