(昭和 50 年 11 月日本造船学会秋季講演会において講演)

船首バルブ付極小造波抵抗船型について

正員 丸 尾 孟* 正員 笠 原 和 子*
正員 鈴 木 和 夫** 正員 河 村 武 彦***

On the Ship Form of Minimum Wave Resistance with a Bow Bulb

by Hajime Maruo, *Member* Kazuko Kasahara, *Member*
Kazuo Suzuki, *Member* Takehiko Kawamura, *Member*

Summary

The minimization of the wave resistance is discussed with respect to the hull form having a bulb at the bow. The main hull is represented by a continuous distribution of doublets and a point doublet is added at the forward end to illustrate the bow bulb. The main hull distribution and the intensity of the bulb doublet are determined in such a way that the wave resistance becomes minimum for a given displacement volume of the hull. Model tests involving the total resistance measurement and the wave pattern analysis are carried out to confirm the validity of the theory.

1 緒 言

著者らはさきに、中心面上の連続特異点分布によって表わされる主船体の前後端に、point doublet あるいは point source および sink を配置することによって、船首尾にバルブを持つ船型を表わし、一定の排水量のもとに造波抵抗を極小とする主船体の形状およびバルブの大きさを決定すると共に、対応する模型の水槽試験を行って理論の妥当性を確かめたり¹⁾。しかしながら計算によって得られたバルブの最適寸法は実用面からみて一般に過大であり、かつ船尾に巨大な膨みを持つ船型は実際問題に應用する上で困難を伴うことが予想される。また一方ではバルブを持たない最適船型の欠陥、およびバルブ付船型の種々の観点からする利点は、極小造波抵抗理論を実用船型の選定に役立たせる上で、バルブの採用を不可欠ならしめるように思われる。

今回の研究では前回と異なり、船首端にのみ point doublet によって表わされるバルブを配置した非対称船型について、造波抵抗を極小ならしめる形状ならびにバルブの大きさを決定し、対応する模型について抵抗試験および波形解析による造波抵抗の測定を行って理論の妥当性を験し、またバルブ無しの船型および両端にバルブを持つ船型との比較を行った。

2 極小造波抵抗船型の計算

船体に固定した直角座標系について原点を静止水面上にとり、船の長さ方向に x 軸を鉛直上向きに z 軸をとる。Michell の薄い船の仮定にならい、船体は $y=0$ なる船体中心面上の x 方向に軸を持つ doublet の連続分布で表わす。今簡単のために doublet の分布面 S_c は $-l \leq x \leq l$, $0 \geq z \geq -T$ なる矩形領域とし、また船首のバルブを表わすために、 $x=l$, $z=-D$ なる点に point doublet を置く (Fig. 1)。主船体を表わす doublet 分布の密度を $(U/2\pi) f(x, z)$ とし、point doublet のモーメントを $MU/4\pi$ とすると、このような特異点分布が x 軸の方向に一樣な速度 U にて前進するときの造波抵抗は

* 横浜国立大学工学部

** 横浜国立大学大学院

*** 三菱重工業株式会社

$$F(k, \theta) = \iint_{S_e} f(x, z) \exp(kz + ikx \cos \theta) dx dz + (M/2) \exp(-kD + ikl \cos \theta) \quad (1)$$

と置くと,

$$R = \frac{2}{\pi} \rho K_0^4 U^2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |F(K_0 \sec^2 \theta, \theta)|^2 \sec^5 \theta d\theta \quad (2)$$

で与えられる。ただし $K_0 = g/U^2$ である。今簡単のために主船体の doublet 分布が深さ方向に一樣である場合のみ考え、 $f(x, z) = f(x)$ と置いて被積分関数が θ の偶関数であることを考慮して抵抗の式を書き直せば,

$$\begin{aligned} R = & \frac{4}{\pi} \rho K_0^2 U^2 \int_0^{\pi/2} [(1 - e^{-K_0 T \sec^2 \theta})^2 \sec \theta \int_{-l}^l \int_{-l}^l f(x) f(x') \cos(K_0 \overline{x-x'} \sec \theta) dx dx' \\ & + MK_0 (1 - e^{-K_0 T \sec^2 \theta}) e^{-K_0 D \sec^2 \theta} \sec^3 \theta \int_{-l}^l f(x) \cos(K_0 \overline{x-l} \sec \theta) dx \\ & + \frac{1}{4} M^2 K_0^2 e^{-2K_0 D \sec^2 \theta} \sec^5 \theta] d\theta \end{aligned} \quad (3)$$

となる。計算の便宜上次のような無次元表示を採用する。

$$x = l \xi \quad (-1 \leq \xi \leq 1) \quad (4)$$

水線の平均半幅を b として

$$f(x) = b \varphi(\xi) \quad (5)$$

ただし

$$b = (1/2l) \int_{-l}^l f(x) dx \quad (6)$$

であるから

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = 2 \quad (7)$$

なる関係が満足される。さらに諸定数を

$$\mu = M/l^2 b \quad (8)$$

$$\gamma_0 = K_0 l = gl/U^2 = 1/(2 F_n^2) \quad (9)$$

$$t = T/l \quad (10)$$

$$d = D/l \quad (11)$$

以上を用いて(3)式を無次元化し、造波抵抗係数を

$$C_w = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho U^2 \bar{B}^2} \quad (\bar{B} = 2b) \quad (12)$$

$$C_w^* = \frac{R}{\frac{4}{\pi} \rho U^2 b^2 \gamma_0^2} \quad (13)$$

と定義すると

$$C_w^* = \frac{\pi}{2 \gamma_0^2} C_w = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \varphi(\xi) \varphi(\xi') G_1(\gamma_0 \overline{\xi - \xi'}) d\xi d\xi' + \mu \int_{-1}^1 \varphi(\xi) h_1(\xi) d\xi + \mu^2 h_2 \quad (14)$$

の如く書ける。ただし

$$G_1(x) = \int_0^{\pi/2} \cos(x \sec \theta) (1 - e^{-\gamma_0 t \sec^2 \theta})^2 \sec \theta d\theta \quad (15)$$

$$h_1(x) = \gamma_0 \int_0^{\pi/2} \cos(\gamma_0 \overline{x-1} \sec \theta) (1 - e^{-\gamma_0 t \sec^2 \theta}) e^{-\gamma_0 d \sec^2 \theta} \sec^3 \theta d\theta \quad (16)$$

$$h_2 = \frac{1}{4} \gamma_0^2 \int_0^{\pi/2} e^{-2\gamma_0 d \sec^2 \theta} \sec^5 \theta d\theta \quad (17)$$

である。さて極小造波抵抗の船型を求めるにあたって、(14)式で表わされる造波抵抗係数を排水量一定の条件のもとに極小ならしめるような分布関数 $\varphi(\xi)$ および μ の値を決定する問題を考える。まず Michell の薄い船の理論により、船体表面の座標は $y = f(x, z)$ で与えられるから、主船体の排水容積は

$$V_H = 2 T \int_{-l}^l f(x) dx = 2 l^2 b t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi \quad (18)$$

次に point doublet の作る形状が球であるとすればバルブの体積は

$$V_D = \frac{2}{3} M = \frac{2}{3} l^2 b \mu \quad (19)$$

しかしながら球と異なる形状でも、その物体の寸法に関するフルード数が充分に大きいときは、その造波効果が point doublet に等しいと考えて差支えない²⁾。ただしそのときの物体の体積は(19)ではなく

$$V_D = \frac{M}{1+k_x} = \frac{l^2 b \mu}{1+k_x} \quad (20)$$

で与えられる。ここに k_x はその物体の x 方向の付加質量係数である。排水量一定の条件として次のような2つの場合が考えられる。すなわち i) 主船体の排水量を一定とし、これに最適な doublet bulb を付加する。ii) 主船体に doublet bulb を加えた全排水量を一定として、極値問題を立てる。

i) 主船体排水量一定の場合

付加条件は

$$V_H = 2 l^2 b t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = \text{const.} \quad (21)$$

すなわち

$$t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = C \quad (22)$$

条件付変分法の原理により、Lagrange factor を k_1 とすると極小条件は

$$\delta[C_w^* + k_1 \{ t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi - C \}] = 0 \quad (23)$$

である。これより次の2つの条件が導かれる。

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi') G_1(r_0 \xi - \xi') d\xi' + \frac{1}{2} \mu h_1(\xi) + \frac{1}{2} k_1 t = 0 \quad (24)$$

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi) h_1(\xi) d\xi + 2 \mu h_2 = 0 \quad (25)$$

また(7)より

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = 2 \quad (26)$$

以上3式が未知関数 $\varphi(\xi)$ および未知数 μ , k_1 を決定する連立積分方程式である。これらの関係を(14)に代入すると C_w^* の極小値として

$$C_{w\min}^* = -\frac{1}{2} k_1 t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = -k_1 t \quad (27)$$

が得られる。

ii) 主船体にバルブを加えた全排水量一定の場合

付加条件は $1/(1+k_x) = \alpha$ と置いて

$$V_H + V_D = 2 l^2 b t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi + \alpha l^2 b \mu = \text{const.} \quad (28)$$

すなわち

$$t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi + \frac{\alpha}{2} \mu = C \quad (29)$$

Lagrange factor を k_2 とすると極小条件は

$$\delta[C_w^* + k_2 \{ t \int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi + \frac{\alpha}{2} \mu - C \}] = 0 \quad (30)$$

これより次のような連立積分方程式が導かれる。

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi') G_1(r_0 \xi - \xi') d\xi' + \frac{1}{2} \mu h_1(\xi) + \frac{1}{2} k_2 t = 0 \quad (31)$$

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi) h_1(\xi) d\xi + 2 \mu h_2 + \frac{\alpha}{2} k_2 = 0 \quad (32)$$

$$\int_{-1}^1 \varphi(\xi) d\xi = 2 \quad (33)$$

C_w^* の極小値は

$$C_{w\min}^* = -k_2 \left(t + \frac{\alpha}{4} \mu \right) \quad (34)$$

となる。

以上得られた積分方程式の解法を示すと、まず関数 $\varphi_0(\xi)$ および $\varphi_1(\xi)$ を次の積分方程式の解として定義する。

$$\int_{-1}^1 \varphi_0(\xi') G_1(\tau_0 \overline{\xi - \xi'}) d\xi' = 1 \quad (35)$$

$$\int_{-1}^1 \varphi_1(\xi') G_1(\tau_0 \overline{\xi - \xi'}) d\xi' = h_1(\xi) \quad (36)$$

次に以下に定義する積分値を求める。

$$\Phi_0 = \int_{-1}^1 \varphi_0(\xi) h_1(\xi) d\xi \quad (37)$$

$$\Phi_1 = \int_{-1}^1 \varphi_1(\xi) h_1(\xi) d\xi \quad (38)$$

$$\delta_0 = \int_{-1}^1 \varphi_0(\xi) d\xi \quad (39)$$

$$\delta_1 = \int_{-1}^1 \varphi_1(\xi) d\xi \quad (40)$$

これらを用いればすべての解を求めることができる。まず(i)の場合について考える。(35)(36)を(24)に代入すれば

$$\varphi(\xi) = -\frac{1}{2} \{ k_1 t \varphi_0(\xi) + \mu \varphi_1(\xi) \} \quad (41)$$

なることが容易にわかる。これを残りの2条件(25)(26)に代入し、(37)~(40)を用いれば

$$\frac{1}{2} k_1 t \Phi_0 + \left(-\frac{1}{2} \Phi_1 - h_2 \right) \mu = 0 \quad (42)$$

$$\frac{1}{2} k_1 t \delta_0 + \frac{1}{2} \mu \delta_1 = -2 \quad (43)$$

なる μ と k_1 を未知数とする連立代数方程式が得られるから、これを解いて μ_1 , k_1 が決定される。(ii)の場合も全く同様である。かくて解法の要点は(35)および(36)の積分方程式を解くことにあるが、このうち(35)は既に発表されているバルブ無し極小造波抵抗船型の解⁹⁾に他ならない。また積分方程式(36)の解も前報に用いたと同様の数値的解法によって求められる。

数値計算例として $T/l=0.1$ の場合についてバルブの深さを船底、および喫水の1/2に置いた場合を取り上げた。計算結果によると主船体のみの排水量を一定とした(i)の場合と、全排水量を一定とした(ii)の場合との間に顕著な差が認められなかったので、(i)の場合のみについて各種フルード数に対する主船体排水量を一定としたときの最適主船体 doublet 分布形状を求めた結果を Fig.2 および Fig.3 に示した。水線および横切面積曲線は端点近くを除いてこの曲線に等しいと考えてよいが、後端で doublet 密度が無限大となっているのは、船尾端の形状が cylindrical であることを意味しており修正を要する。Fig.4 には主船体の最適肥せき係数をフルード数の関数として示してあり、また Fig.5 に各フルード数において最適のバルブの大きさが係数 μ で与えられている。

3 供 試 模 型 船

前節の理論的結果を実験によって裏付ける目的で2種類のフルード数 0.3536 および 0.3162 についてバルブの深さを喫水の1/2としたときの最適船型のパラフィン模型を製作し、抵抗試験および波形解析による造波抵抗の決定を行った。また比較のためにフルード数 0.3162 において最適のバルブ無し船型の模型についても実験を行った。作製した模型船の要目は Table 1 に示す通りである。なおこの表で A' および B' としたのは Model A および Model B の試験を終えた後、バルブを削り取ってバルブの効果を調べるために用いた模型である。模型主部の形状は frame line をすべて 10 次曲線とした。バルブは長軸短軸比が2の回転楕円体とし、中心を

F.P. の喫水の 1/2 の点に置いたが、主船体との接続を考慮してバルブの後半部はほぼ円筒状に変形した。模型船 A, B の body plan は Fig. 6, Fig. 7 に示す通りで、また各模型の 1/2 喫水における水平断面形状を Fig. 8 に示してある。更に前回の論文に記載した船首尾下端にバルブを持つ船型で最適フルード数を 0.3536 としたものを Model X, 同じく 0.3162 としたものを Model Y とし、これらの船尾バルブを取り外したものを Model X' および Model Y' とする。この他最適フルード数を 0.3536 としたバルブ無し極小造波抵抗船型のパラフィン模型を別の機会に抵抗試験のみ行った結果⁴⁾を比較のために加えたが、この模型を Model D と名付けた。Table 2 にこれら模型の要目を示してある。Fig. 9 に Model A, B と Model X, Y との比較が示されている。乱流促進装置としてバルブ付模型には F.P. に、バルブ無し模型には sq. st. $9\frac{1}{2}$ に高さ 1.5 mm の stud を 5 mm 間隔に取り付けた。

4 水槽試験結果および考察

抵抗試験結果から 1957 年 ITTC 模型実船換算曲線を用いて剰余抵抗係数を求めた。Fig. 10 および Fig. 11 にこれらを示す。まず最適フルード数を 0.3536 に設定した模型に関する Fig. 10 を見ると、計画速力で剰余抵抗が最小となるのは船首尾に大型バルブを取り付けた Model X であり、今回の Model A はこれに次ぐものであるが、その差は極く僅かである。Model X の船尾バルブを取り除いた Model X' は Model A より僅かに高く、またバルブ無し最適船型の Model D はそれより剰余抵抗が大きい。Model A のバルブを取り除いた Model A' は他の模型よりはるかに悪くなり、船首バルブの効果が著しいことがわかる。次に最適フルード数を 0.3162 とした Fig. 11 では傾向がやや異なり、船首尾下端に大型バルブを付けた Model Y は他の最適船型より計画速力で剰余抵抗が大きくなっている。バルブ無し最適船型の Model C は Model B よりやや高いがその差は小さい。Model Y より船尾バルブを取り除いた Model Y' は Model Y よりやや高く、Model B よりバルブを取り除いた Model B' は他の模型よりはるかに高い値を示し船首バルブの効果の著しいことが示されている。

以上の結果は剰余抵抗に関するものであるが、各模型の形状の間には大きな相違があり、粘性抵抗に対する形状影響係数に著しい差があることが考えられる。そこで造波抵抗の比較を行うために波形解析を行った。波形計測には水槽壁面に接して設置した容量型波高計を用い、壁における波の完全反射を仮定して鏡像原理により測定値の 1/2 を以て実際の波形とした。解析には longitudinal cut に沿う Fourier 変換に Newman の打ち切り修正を用いる所謂 Newman-Sharma 法⁵⁾を用いた。各種模型船の造波抵抗係数の比較を Fig. 12 および Fig. 13 に示す。Fig. 12 は最適フルード数 0.3536 に関するものであるが、Model D については波形計測が行われていなかったため結果を示すことができなかった。剰余抵抗の結果と際立って違う点は、船首尾バルブ付の Model X の造波抵抗は著しく小さく、その船尾バルブを取り除いた Model X' でさえも Model A よりも低くなっていることである。

これは Model X のバルブが船底にあり、かつ極めて巨大であって、波の打ち消し効果が特に大きいのに比べて、Model A ではバルブが喫水の 1/2 に設置されてその寸法が小さいばかりでなく、バルブの後半を船体との接続のために円筒状にしたことが、doublet としての造波効果を幾分減殺したことも原因となって、Model X' より劣る結果となったことが考えられる。最適フルード数を 0.3162 とした模型に関する Fig. 13 では、船首尾バルブ付 Model Y が最良であることは Fig. 12 と同様であるが、船尾バルブを取り除いた Model Y' よりも Model B の方が計画速力では造波抵抗が低くなった。バルブ無し最適船型 Model C は Model B より僅かに高くなっているがその差は小さい。なお Model C の造波抵抗曲線が計画速力で極小値を示さないように見えるが、これはおそらく実験誤差によるものであって、剰余抵抗係数曲線と比較するとフルード数約 0.34 における造波抵抗値は実際はこれより大きくなるべきであろう。バルブを取り除いた Model B' は他の模型に比してはるかに造波抵抗が大きく、船首バルブの効果が明らかに現われている。剰余抵抗係数を示す Fig. 11 と比較すると Model B と Model Y との優劣が逆になっている。これは Model Y のバルブ形状が粘性抵抗を増加させ、造波抵抗に関する優位を打ち消したものと判断される。このように剰余抵抗における各模型の順位と造波抵抗におけるそれとは合致しないが、その相違は粘性抵抗の相違によって説明できるように思われる。

5 バルブの効果について

前節に示した剰余抵抗および造波抵抗の比較において、船首バルブの抵抗減少効果の著しいことが確かめられ

たが、詳しい模様を知るために波形計測結果について更に検討を加える。模型船の中心線より 1.795m 側方に設置した波高計位置における最適フルード数での測定波形を Fig. 14 および Fig. 15 に示す。Fig. 14 における Model A と Model A' および Fig. 15 における Model B と Model B' との差がバルブによる波を表わしているとしてよい。いずれも主船体の波を打ち消す傾向があることがわかるが、造波抵抗に対する関係はこれらの図からは把握し難い。そこで Fig. 16 および Fig. 17 にそれぞれの場合における振幅関数 $P(\theta)$, $Q(\theta)$ が示してある。これらの模型は前後非対称であるから振幅関数の両成分が同じ程度に現われている。振幅関数を用いて造波抵抗を表わすと、

$$R = \frac{\rho K_0^2}{\pi} \int_0^{\pi/2} [P(\theta)^2 + Q(\theta)^2] \sec^3 \theta d\theta \quad (44)$$

であるが、積分変数を $\lambda = K_0 \sec \theta$ の如く変換して

$$R = \frac{\rho g K_0 L^4}{\pi} \int_{K_0}^{\infty} S(\lambda) \frac{\sqrt{\lambda^2 - K_0^2}}{\lambda^2} d\lambda \quad (46)$$

の形に書くことができる。ここに $S(\lambda)$ を波のスペクトルと定義する。Fig. 18 および Fig. 19 にそれぞれの最適フルード数における波スペクトルが示してあり、バルブによる造波抵抗減少効果を見ることができる。ここに興味深いのは Fig. 19 に加えてあるバルブ無し最適船型 Model C の結果との比較である。図に見られるように Model B と Model C とでは船型の大幅な相違にもかかわらず極めて近い波スペクトルが得られ、バルブ無しの最適船型も船首バルブ付最適船型に匹敵する性能を示すことがわかった。

6 結 言

船首端に doublet で表わされるようなバルブを持つ船型について造波抵抗を極小とする主船体形状およびバルブの大きさを計算し、対応する模型の抵抗試験および波形解析を行って理論と比較した結果次のような結論を得た。

- (1) 模型の剰余抵抗および波形造波抵抗は理論による最適フルード数ではほぼ極小値を示し、定性的には理論と合致した。
 - (2) バルブを取り除いた形状では造波抵抗が著しく増大し、また波形解析結果からもバルブによる波の打ち消し効果が著しいことが確認された。
 - (3) 船首尾にバルブを持つ最適船型に関する実験結果は、造波抵抗については船首のみにバルブを持つ船型より優れているという理論上の結論を裏書きしたが、剰余抵抗については粘性抵抗の相違によって必ずしもこれと一致しない。特に船底に装着した大型バルブは波の打ち消し効果は大きい、粘性抵抗が大きく、造波抵抗上の利点が失われる。
 - (4) バルブ無しの最適船型は船首バルブ付船型より造波抵抗が大きいことは理論と合致するが、最適フルード数 0.3162 ではその差は僅かであり、あまり高い速度でなければ両者の性能はほぼ伯仲するものと見てよい。
- 終に本研究は文部省科学研究費補助金によるものであり、数値計算には東大大型計算機センターの HITAC 8700/8800 電算機を使用した事を付記し、また実験にあたって横浜国立大学工学部田草川善助助手および田端実技官の協力を得たことに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) H. Maruo, K. Kasahara, M. Miyazawa : Ship Form of Minimum Wave Resistance with Bulbs, 造船学会論文集, 第135号 (昭和49年6月).
- 2) H. Lamb, Hydrodynamics, 6th ed.
- 3) 丸尾 孟, 山越康行 : 有限喫水を持つ極小造波抵抗船型の計算, 造船学会論文集, 第130号 (昭和46年12月).
- 4) 西村成一, 竹原久雄 : 有限喫水をもつ極小造波抵抗船型の模型水槽試験, 横浜国立大学卒業論文 (昭和47年3月).

- 5) J. N. Newman : The Determination of Wave Resistance from Wave Measurements along a Parallel Cut, International Seminar on Theoretical Wave Resistance, Vol. I (1963).

Fig. 1 COORDINATE SYSTEM

Fig. 2 OPTIMUM DOUBLET DISTRIBUTION

Fig. 3 OPTIMUM DOUBLET DISTRIBUTION

Fig. 4 OPTIMUM COEFFICIENT OF FINENESS

Fig. 5 OPTIMUM SIZE OF BULB

Fig. 6 BODY PLAN OF MODEL A

Fig. 7 BODY PLAN OF MODEL B

Fig. 8 HORIZONTAL SHAPES OF MODELS

Fig. 9 COMPARISON OF MODELS

Fig. 10 RESIDUARY RESISTANCE COEFFICIENTS

Fig. 11 RESIDUARY RESISTANCE COEFFICIENTS

Fig.12 WAVE RESISTANCE COEFFICIENTS

Fig.13 WAVE RESISTANCE COEFFICIENTS

Fig.14 MEASURED WAVE PATTERN

Fig.15 MEASURED WAVE PATTERN

Fig.16 AMPLITUDE FUNCTIONS

Fig.17 AMPLITUDE FUNCTIONS

Fig.18 WAVE SPECTRA

Fig.19 WAVE SPECTRA

Table 1

Particulars of Models					
Model	A	A'	B	B'	C
Designed Fn	0.3536	—	0.3162	—	0.3162
Lpp (m)	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Loa (m)	2.100	2.000	2.082	2.000	2.000
B (m)	0.246	0.246	0.272	0.272	0.274
T (m)	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
∇_H (m ³)	0.0291	0.0291	0.0291	0.0291	0.0291
∇_T (m ³)	0.0304	0.0291	0.0298	0.0291	0.0291
S (m ²)	0.7023	0.6372	0.6845	0.6416	0.6396
$\bar{X}_B$ (m)	0.341Fore	0.031Fore	0.228Fore	0.047Fore	0
Cb (Main Hull)	0.591	0.591	0.535	0.535	0.531
Cp (Main Hull)	0.649	0.649	0.588	0.588	0.585
Cm	0.909	0.909	0.909	0.909	0.909
$(\nabla_H/Lpp) \times 10^2$	0.364	0.364	0.364	0.364	0.364
B/Lpp	0.123	0.123	0.136	0.136	0.137
T/Lpp	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Diameter of Bulb (m)	0.100	—	0.082	—	—
Draft of Bulb Center (m)	0.050	—	0.050	—	—
Af/Am	0.351	—	0.216	—	—
NOTE; Lpp : Length between Perpendiculars Loa : Length Overall ∇_H : Displacement Volume of Main Hull ∇_T : Total Displacement Volume $\bar{X}_B$: Center of Buoyancy from Midship Cb : $\nabla_H/Lpp \cdot B \cdot T$ Cp : $\nabla_H/Am \cdot Lpp$ Af : Sectional Area of Bulb at FP Am : Sectional Area of Midship					

Table 2

Particulars of Models			
Model	X	Y	D
Designed Fn	0.3536	0.3162	0.3536
Lpp (m)	2.000	2.000	2.000
Loa (m)	2.300	2.251	2.000
B (m)	0.250	0.263	0.247
T (m)	0.100	0.100	0.100
∇_H (m ³)	0.0291	0.0291	0.0291
∇_T (m ³)	0.0329	0.0317	0.0291
Cp (Main Hull)	0.641	0.609	0.648
Cm	0.909	0.909	0.909
$(\nabla_H/Lpp) \times 10^2$	0.364	0.364	0.364
Diameter of Bulb (m)	0.120	0.101	—
Draft of Bulb Center (m)	0.100	0.100	—