## (昭和 41 年5月造船協会春季講演会において講演)

# 船型計画における造波抵抗理論の応用例

正員	安	部	光	弘*
正員	大	楠		丹*

Examples of the Applications of the Wavemaking Resistance Theory to Hull Form Designs

> By Mitsuhiro Abe, Member Tan Okusu, Member

#### Summary

Over the past several years the Mitsui Ship-building & Engineering Co., Ltd. has been engaged in the development of a new hull form applying the theory of wave-making resistance.

This procedure is well known as "Waveless Hull Form Theory" developed by Prof. Inui.

This paper refers to the practical cases of the applications of the Theory through several experimental works.

It should seem that the results of experiments suggested a few questions how to apply the Theory. The most important ones are the followings :

(1) Applying the Theory to designs of Bulbous Bow is to be the most efficient. But the position, size and shape of "bulb" must be selected carefully through experiments.

(2) Reffering to the "Minimum Wave-Making Resistance Theory" the results of experiments have not necessarily shown a satisfactory agreements with the Theory. One reason will lie in the nonlinear effects not explained by the Theory

The authors believe the more investigations must be continued both in theory and experiment, especially in case of large tanker hulls.

## 1 緒 言

近年めざましい進展をとげつつある造波抵抗理論を、実用的な船型の計画に応用しようと試みた2,3の例について報告する<sup>(1)</sup>。

Michell, Havelock, に代表されるように造波抵抗理論の歴史は古く<sup>(3)</sup>, また Wigley, Weinblum 等によつ て実験的な研究も多数行なわれてきたが<sup>(3)</sup>, 近年になつて船型とその造波抵抗を結びつける種々の近似的方法や 新しいアイディア, さらには大型電子計算機の使用によつて,造波抵抗理論を実用的な船型の改良に応用できる。 可能性が見い出された<sup>(4)</sup>。しかし造波抵抗理論が理想流体をとりあつかつた,しかも線型理論であることを考え るとき,その応用にあたつては実験的に理論を補正してゆくことが必要であるし,また実用上の要求から生ずる 種々の条件を満たすことも考慮しなければならない。つまり理論をいかに上手に,いかなる観点から,またいか、 なる範囲に適用するかが実用化の課題となるであろう。今後さらに理論は着実な前進を続けるものと信ずるが, 断えず実用的見地からそれを応用する努力も重ねてゆく必要があると考える。

この報告は、理論的に、また実験的に必ずしも首尾一貫した内容をもつものではないが、実際に建造が予定された大型油槽船、高速貨物船の船型の計画に際し、種々の理論的手法を適用してみた実例を示したものである。 著者等はこれらの経験を通して、造波抵抗理論を実用船型の計画に適用する際の諸問題を2,3例示し、今後の 参考としたい考えである。

原稿受付 昭和 41 年 1 月 10 日

<sup>\*</sup> 三井造船株式会社本社研究部

## 2 大型油槽船における応用例

タンカーのように肥大した船型で,しかも低いフルード数を問題とする場合,線型理論である造波抵抗理論が うまく適用されるかどうかについては,かなり問題が多いものと推測される。一般にタンカーは中央平行部を有 するために,いわゆる肩波が発生し,船体の前後部合わせて合計4つの波系が存在すると考えられ,現象をかな り複雑なものとしている。第1種 Waveless 船型(球状船首船型)の場合には船首波のみを対象にバルブとの 造波干渉を考えている。しかし船体各部から出る波の相互干渉を利用する第2種 Waveless 船型(最小造波抵 抗船型)では船首波と前肩波の両者を考慮に入れねばならず,理論通りの成果を得ることが困難な場合も予測さ れる。

一方船体縦中心面内の吹き出し分布から二重模型近似によつて得られた船型は,船首端より中央部に向つて船 底がたれ下り,実用上船底を切り落して平底化することを考えねばならない。第1種 Waveless 船型ではこの 影響がバルブの計画にさほど支障をきたすものでないことが立証されているが<sup>(5)</sup>,第2種 Waveless 船型の場 合理論で得られる特性が実験的に保存されるか否か確認する必要があろう。

船体後半部については, cruiser stern 等実用上の要求を満たす等価な吹き出し分布系を見い出すことは極め て困難な上に,粘性等の影響によつて船尾波系の造波特性を適確に表現することは至難であり,現状では Half Body Concept<sup>(4)</sup> によつて,ある適当な実在船型の後半部をそのまま用いるのが妥当であろう。

以上の問題点を、第1種および第2種 Wavleess 船型の理論を適用した実例について検討することにする。

## 2·1 第1種 Waveless 船型

第1種 Waveless 船型は, 主船体のつくる波と逆位相の波をもつバルブを主船体に附加して主船体の波を打 消し, 造波抵抗を減少させるものである。主船体の後続自由波のうち船首波のみとりだせば, その波高は次のよ うに表わせる。

$$\zeta_{W} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} A_{F}(\theta) \sin \{K_{0} \sec^{2}\theta (\overline{l+r(\theta)-x} \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta$$
(1)

ただし

$$A_{F}^{2}(\theta) = S_{F}^{2}(\theta) + C_{F}^{2}(\theta)$$
  

$$\gamma(\theta) = (K_{0} \sec \theta)^{-1} \tan^{-1} \{ C_{F}(\theta) / S_{F}(\theta) \}$$
(2)

この船首波を  $l+r(\theta)$  におかれた2重吹き出しの波

$$\zeta_{WD} = -\int_{-\pi/2}^{\pi/2} B_F(\theta) \sin\{K_0 \sec^2\theta (\overline{l+\gamma(\theta)-x}\cos\theta + y\sin\theta)\}d\theta$$
(3)

$$B_F(\theta) = 2 a^3 K_0^2 e^{-K_0 f \sec^2 \theta} \sec^4 \theta \tag{4}$$

によつて干渉せしめれば、合成された波高は

$$\zeta_{W}' = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\} \sin\{K_0 \sec^2\theta (\overline{l+\gamma(\theta) - x}\cos\theta + y\sin\theta)\} d\theta$$
(5)

となり, そのときの造波抵抗は

$$R_{W}' = \pi \rho V^2 \int_0^{\pi/2} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}^2 \cos^3\theta d\theta$$
(6)

で与えられる。

主船体の計画にあたつて、パルブの大きさをできるだけ小さくするために、その振幅関数  $A_F(\theta)$  をなるべく 小さな、しかもパルブの振幅関数に近い単純な形のものとし、一方パルブの船首からの突き出し量をなるべく小 さくするために、 $r(\theta)$  が負の値をもち、造波抵抗への寄与が大きい $\theta$ が小さいところで $r(\theta)$  の変化が少ない ような振幅関数を選ぶ。またタンカーのように載貨状態が大幅に変動する船では、パルブをどの状態で計画する か迷うところであるが、ここでは最も容易な満載状態について考える。

供試船型の計画 第1表に示す主要目の大型油槽船を対象として、計画速力  $K_0L=30$  ( $F_N=0.183$ ) において主船体およびパルプの計画を行なつた。主船体の等価吹き出し分布としては、次の形のものを採用した。

$$m(\xi, \zeta) = \begin{cases} a_0 + a_1 \xi + a_2 \xi^2 ; 0.6 \le \xi \le 1\\ 0 ; 0 \le \xi \le 0.6 \end{cases}$$
(7)

分布の深さは T/L=0.05 とした。前記の条件, すなわち振幅関数の大きさおよび  $r(\theta)$  の特性を検討した結

造船協会論文集 第119号



られるので、同じく第1図に実線で示すように、たれ下つた船底を切り落して平底型としてもバルブの計画に関 しては大きな支障はない。このようにして決定された船体前半部に、適当な実在船型の後半部を附加して供試船 型 MT-1 とした。

バルブは  $\theta=0^\circ$  で振幅関数  $B_F(\theta)$  が  $A_F(\theta)$  の約 1/2 の大きさとなるように定め、その前後位置は、肥大 船型では船首波系が理論よりも前方にずれることを考慮して、第2表に示す3種のバルブを計画した。このバル ブと主船体の振幅関数を第2図に示す。このバルブを主船体 MT-1 にフェアリングする際には、もとの2重吹 き出しの特性が保たれるよう極力排水量の増加を少なくした。これら供試船型の正面線図を第3図に示す。

MODEL NO.	CONDITION	L <sub>PP</sub> (m)	B (m)	d <sub>M</sub> (m)	TRIM	⊽ (m³)	x/L	a/L	f/L
MT 1	FULL LOAD	3,000	0. 4616	0. 1650	0	0.18240			_
	BALLAST			0. 0916	3.5%L	0.09624			_
MT-1-B1	FULL LOAD	3,000	0. 4616	0. 1650	0	0.18312	0	0.02	0.035
MT-1-B2	FULL LOAD	3,000	0. 4616	0. 1650	0	0. 18416	0.010	0. 02	0.035
	BALLAST			0.0922	3.5%L	0.09759			
MT-1-B3	FULL LOAD	3,000	0.4616	0. 1650	0	0. 18436	0. 015	0.02	0.035
MT-2		2, 500	0. 3926		0	0.16605			-
MT-3		2,800	0. 4350		0	0. 22721	0	0.01	0.010
MT-4	FULL LOAD	3.000	0.4616	0. 1650	0	0.18220			

Table. 2 Particulars, & Test Conditions of Models

REMARKS;

x : Lengthwise Position of Bulb from F.P

a : Radius of Bulb

f : Depth of Bulb

## 船型計画における造波抵抗理論の応用例



Fig. 3 Body Plans

抵抗試験およびその結果 抵抗試験は東京大学船型試験水槽において,長さ3mの木製模型船を用い,満載 状態で行なわれた。ただし MT-1 および MT-1 B2 は 50% 満載排水量, 3.5% トリムの脚荷状態についても 行なわれた。試験の結果は全抵抗係数  $C_t = R_t/1/2\rho V^2 L^2_{DWL}$ の形で第4図および第5 図に示した。

第4図では、パルブの前後位置が F.P. より 1% 前方にある MT-1B2 が計画速力附近で最もよく、パルブ の前後位置は理論で予測されたよりもかなり前方にあつた。しかしわずか 1,2% の位置の相違によりパルプの 効果に格段の相違が生じたことは、単に船首波の起点のずれだけでは理解できない問題を残す。一方計画速力を わずか下回るフルード数  $F_N=0.17$  以下ではパルプ船型の方が劣つている。これは主船体とのフェアリング部 分の不連続性あるいはパルプの固有抵抗によるものとみられるが、パルプの大きさに造波抵抗理論で考えられる 以外の制約があるともいえる。このことは、また第5 図の脚荷状態における試験結果と合わせて考えねばならな



Fig. 4 Total Resistance Coefficients (Full Load Condition

造般協会論文集 第119号



Fig. 5 Total Resistance Coefficients (Ballast Condition)

い。脚荷状態ではバルブの一部が水面に露出するため、水の表面にかく乱を起こし、さらには(4)式から推察 されるようにパルブの波が急激に増大して、いわゆる over cancel を起こすため第5図のような結果になるも のと考える。これらはバルブを小さくすることにより解決されるであろう。脚荷状態でバルブを計画すれば、前 述のバルブの形状等に起因する demerit はなくなり、大型油槽船のように比較的低速で運航される船には、そ の方が好ましい面もある<sup>(6)</sup>。

## 2·2 第2種 Waveless 船型

第2種 Waveless 船型の考え方は,船体縦中心面に分布する船型と等価な吹き出し分布を,有限次の多項式 で近似し,船体前半部のみに着目して,排水量一定等の束縛条件を与えて造波抵抗を極小とするものである。こ の理論を貨物船のような"やせた"船型に適用した例はすでに報告されているが<sup>(7)</sup>,タンカーのように肥大した 船型で,しかもフルード数の低い,すなわち非線型の影響が極めて強いと考えられるものに適用するについては かなりの困難が伴なうものと予測される。

船体前半部の波は船首波と前肩波の2つの波系に分けられ、その造波抵抗はそれぞれの波形が独立に存在する ときの造波抵抗、すなわち基本項と、両波系の干渉による基本項の変化量、すなわち干渉項に分離できる。しか し両波系の波を十分小さくすれば両者の干渉は考えるまでもないとして、ここでは基本項のみに注目することに する。

いま船体縦中心面内に次式で表わされる吹き出し分布を考える。

$$m(\xi,\zeta) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{m} a_i \xi^i & ; \epsilon \leq \xi \leq 1\\ 0 & ; 0 \leq \xi \leq \epsilon \end{cases}$$
(8)

ここに  $\epsilon$  は船体平行部前端, すなわち前肩の x 座標を示し, 分布は深さ方向に一定とする。このとき船体前半部の波は

$$\begin{aligned} \zeta_{W} &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sum_{i=0}^{m} a_{i} S_{Fi} \sin\{K_{0} \sec^{2} \theta(x - l \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \\ &+ \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sum_{i=0}^{m} a_{i} C_{Fi} \cos\{K_{0} \sec^{2} \theta(\overline{x - l} \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta \\ &+ \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sum_{i=0}^{m} a_{i} S_{si} \sin\{K_{0} \sec^{2} \theta(\overline{x - \varepsilon} \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta \\ &+ \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sum_{i=0}^{m} a_{i} C_{si} \cos\{K_{0} \sec^{2} \theta(\overline{x - \varepsilon} \cos \theta + y \sin \theta)\} d\theta \end{aligned}$$
(9)

と表わせる。ここに SF1 等は次式で与えられる。

$$S_{Fi} = \frac{U}{\pi K_0 L} \left\{ 1 - \frac{i(i-1)}{(K_0 l \sec \theta)^2} + \frac{i(i-1)(i-2)(i-3)}{(K_0 l \sec \theta)^4} - \cdots \right\}$$

船型計画における造波抵抗理論の応用例

$$C_{Fi} = \frac{U}{\pi K_0 L} \left\{ -\frac{i}{K_0 l \sec \theta} + \frac{i(i-1)(i-2)}{(K_0 l \sec \theta)^3} - \dots \right\}$$

$$S_{Si} = \frac{U}{\pi K_0 L} \left\{ -\varepsilon^i + \frac{i(i-1)\varepsilon^{i-2}}{(K_0 l \sec \theta)^2} - \frac{i(i-1)(i-2)(i-3)\varepsilon^{i-4}}{(K_0 l \sec \theta)^4} + \dots \right\}$$

$$C_{Si} = \frac{U}{\pi K_0 L} \left\{ \frac{i\varepsilon^{i-1}}{K_0 l \sec \theta} - \frac{i(i-1)(i-1)\varepsilon^{i-3}}{(K_0 l \sec \theta)^3} + \dots \right\}$$

$$U = 1 - \exp(-K_0 T \sec^2 \theta)$$
(10)

ただし

このとき船体前半部の造波抵抗の基本項 Rw"は無次元化した形で次のように表わせる。

$$C_{W} = R_{W} / \frac{1}{2} \rho V^{2} L^{2}_{DWL}$$
  
=  $\sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{m} a_{i} a_{j} (P_{ij} + Q_{ij})$  (11)

ここに,

$$P_{ij} = \int_{0}^{\pi/2} \{ S_{Fi}^{*} \cdot S_{Fj}^{*} + C_{Fi}^{*} \cdot C_{Fj}^{*} \} d\theta$$

$$Q_{ij} = \int_{0}^{\pi/2} \{ S_{Si}^{*} \cdot S_{Sj}^{*} + C_{Si}^{*} \cdot C_{Sj}^{*} \} d\theta$$
(12)

で与えられ、SFi\* 等は weighed amplitude function と呼ばれ (10) 式より

$$S_{Fi}^* \cdot = S_{Fi} \cdot \cos^{3/2}\theta, \dots$$
<sup>(13)</sup>

で示される。

(11) 式の造波抵抗係数  $C_w$  は、前肩波が船首波に比べて小さいという経験的事実を勘案して<sup>(8)</sup>、便宜的に導入した修正係数 $\beta$ を用い、次のように書き換えることにする。

$$C_{W} = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{m} a_{i} a_{j} \left( P_{ij} + \beta^{2} Q_{ij} \right)$$
(14)

 $P_{ij}, Q_{ij}$ が計算されてあれば、ある束縛条件

$$\sum_{i=0}^{m} a_i A_i = k \tag{15}$$

のもとで、(14) 式を極小にする吹き出し分布を定めることができる。すなわち

$$F = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{m} a_{i} a_{j} (P_{ij} + \beta^{2} Q_{ij}) + \lambda \left( k - \sum_{i=0}^{m} a_{i} A_{i} \right)$$
(16)

とおき

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_i} = 0 \qquad ; i = 0, 1, \dots, m \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = 0 \end{cases}$$
(17)

の連立方程式を解いて、未定係数 *a*<sub>i</sub> を求めればよい。船首に2重吹き出しを附加した場合についても同様に計算がなされる。

供試船型の計画 供試船型は第1種 Waveless 船型 MT-1 と同じく,第1表に示す大型油槽船を対象として,計画速力,吹き出し分布の深さ,船体平行部の長さは MT-1 と同一とした。束縛条件としては排水量一定:の近似的条件

$$M = \int_{*}^{1} \xi m(\xi, \zeta) d\xi = 0.45$$
(18)

を採用した。 $P_{ij}$ ,  $Q_{ij}$  は数値積分により,  $i, j=0, 1, \dots, 10$ に対して数表を作成した。これを使用して種々の 次数の多項式,ならびに $\beta$ の値に対して(14)式を極小にする吹き出し分布を試算した。その1例を第6図に示 す。次数を増すとある次数までは  $C_W$  が急激に減少し,第1種 Waveless 船型 MT-1-B よりも造波抵抗が小 さくなる可能性を示している。MT-2, MT-3 は $\beta=0.7$ としたもので,MT-3 は船首に 1.2%L の cylindrical bulb が附加されており,このため造波抵抗は MT-2 よりさらに小さくなつている。MT-4 は  $\beta=0$ , すなわち

造船協会論文集 第119号



of Optimum Source Distribution

前肩波を無視して船首波の造波抵抗を極小としたものである。その結果,船首波の造波抵抗は著しく小さく MT-2 の 1/15 程度になるが,前肩波のそれは 20 倍近い大きさになつている。

これら3種の吹き出し分布につき流線を計算し, MT-4 に関してはたれ下つた船底を切り落して船体の前半部 とし,後半部は MT-1 と同一のものを使用した実用船型としたが, MT-2, MT-3 は丸底, 前後対象の理論船 型のまま供試船型として使用する。これらの主要目を第2表に,水線面形状と吹き出し分布形状を第7図に示す。

抵抗試験およびその結果 抵抗試験は長さ 2.8 m~3 m の木製模型船を用いて,計画喫水の状態で行なわれた。試験結果は全抵抗係数より形状影響係数を MT-1\*, MT-4 では 0.33, MT-2, MT-3 では 0.25 とした Hughes の摩擦抵抗係数を差引いて造波抵抗を求め,これを第8 図に示した。また同時に行なわれた船側波形の 観測結果を第9 図に示す。



前述のように MT-2, MT-3 は理論船型であり, MT-1, MT-4 は実用船型であるから, 第8図のうえでこの4者を直接比較するのは難しいが, 第10図に示す理論計算の結果と対比して大略の検討を行なう。同図は MT-2, MT-3 の船体前半部の造波抵抗を船首波前肩波の干渉項まで含めて計算し, MT-1-B の理論値と比較 したものである。

理論上は MT-1-B よりも造波抵抗の小さい MT-2 が、第8図の抵抗試験結果では逆に大きくなつている。

\* MT-2 等と同時期に再試験を行なつたもので, 第4図と形状影響係数が相違している。



しかし第9図の船側波形でみれば MT-2 の方が波高は小さ く, MT-1-B より造波抵抗が大きいとはいいがたい。MT-2 は前後対象の船型で, 船体後半部の造波特性は当然 MT-1 より劣ること,あるいは第2種 Waveless 船型の理論がうま く適用されていないこと等, 種々の見方ができるが, 両者の 船型上の相違もあるため, さらに詳細な検討を待たなければ 即断はできない。

MT-3 も造波抵抗の実測値が極めて高く,しかもその造波 抵抗曲線の傾向が,同じくバルブ船型である MT-1-B と異 なり,フルード数  $F_N=0.19$  前後のかなり高いところで MT-2 と交叉している。このことを船側波形で調べてみる と,MT-3のバルブの波は2重吹き出しと吹き出しの波の中 間にあると推察され,このような cylindrical bulb は2重 吹き出しとして取扱うことができないとも考えられる。

MT-4は前述のように肩波が極端に大きな船型であるが, 第8図では MT-1 とほぼ同位の結果が得られている。この ことは肩波の造波抵抗が理論上予測されるものよりはるかに 小さいという従来の便宜的な考え方を裏付けるものである

か,あるいは船首,前肩のように距離的に接近した点で,両波系を物理的に分離して考えることに無理があるか とも考えられる。

### 3 高速貨物船における応用例

高速貨物船のような"やせた"フルード数の比較的大きい船に対しては,第2章で述べたような種々の理論的 方法を適用した例がすでに報告されており<sup>(7)</sup>,それだけその成果に対しても期待が持てるように思われる。

ここでは、(1)第2種 Waveless 船型,(2)従来の系統的模型試験から得られる船型,(3)細長船近似による極小造波抵抗船型の3種の船型を計画し,それ等の実験結果を比較検討した。それに加えて,第1種 Waveless 船型の考え方などを勘案し,第4の最終的な船型を計画した。

もちろん,前章の大型油槽船の場合と同様に,理論の結果をそのまま実用船型とすることは不可能であり,船 体後半部,船底部のたれ下り等は大型油槽船の場合と同様に処理される。

以下, 第1表に示す高速貨物船を対象として船型の計画を行なつた。

3·1 L-1, L-2 の計画

供試船型 L-1 は第2種 Waveless 船型の考え方を応用して計画する。第2種 Waveless 船型については、 すでに第2章で述べたが、ここでとりあげる船型には船体平行部がない点が相違する。この点を除けば理論の取 り扱い方は前章で述べた大型油槽船の場合と全く同様なので、直ちに実際の計画について述べる。

吹き出し分布としては、種々試算の結果、次のような形式のものを採用した。

 $m(\xi,\zeta) = a_1\xi + a_3\xi^3 + a_5\xi^5 + a_7\xi^7 + a_9\xi^9$ 

(19)

ここで計画速力  $K_0L=13(F_N=0.277)$ , 吹き出し分布の深さ T/L=0.08, (18) 式で定義される排水量一定の 束縛条件から M=0.30, 0.32, 0.34 および 0.36 として船首波の造波抵抗が極小になる吹き出し分布の係数を 定めた。さらにこれ等の吹き出し分布の流線を追跡して、水線面形状を試算した結果、M=0.32 としたとき、 目標とする船型が得られた。この時の吹き出し分布の係数は次の通りである。

$$a_1 = 3.736721, a_3 = -9.553936, a_5 = 12.659968$$

 $a_7 = 11.763605, a_9 = 5.320850$ 

ここに得られた船型は前後対称であり,船底は船体中央部に向つてたれ下つている理論船型である。そこで第2 章の場合と同様,船体前半部はこの理論船型のたれ下つた船底を切り落して平底化したものを,船体後半部には 日本造船研究協会第 45 研究部会 (SR 45) で定めた標準船型の後半部を幾何学的に変形したものを採用し<sup>(9)</sup>, 供試船型 L-1 とした。

# 造船協会論文集 第119号





L-1 に対し代表的な在来船型として, SR 45 の船型を L-1 と同一の主要寸法 になるように幾何学的に変形して L-2 とした。これらの正面線図,および横載 面積曲線を第 11 図,第 12 図に示す。 ここで船体前半部の肋骨線形状は L-1 がU型, L-2 がV型,また後半部は両者 同一である。

上記2隻の供試船型に対して,東京大 学船型試験水槽で,長さ2.5mの木製模 型船を用いて抵抗試験を行なつた。,使 用した模型船の主要目を第3表に,試験 結果を剰余抵抗係数の形で第13図,第 14 図に示す。

L-1 と L-2 を比較すると,満載状態, 脚荷状態いずれにおいても,L-1 の方が 10%前後低い値を示しており,理論的な 計画の利点が発揮されているように思わ れる。しかしその差が予期したほどでな いのは,船体後半部の形状,平底化の方 法に問題があると思われ,さらには剰余 抵抗曲線の傾向から判断して,理論上 の設計速力を高速に移してフルード数  $F_N=0.28\sim0.29$ にみられるハンプをな くすことが必要と思われる。また適当な 大きさの球状船首を附加することによつ てさらに性能を向上させることができる と思われる。

3·2 LO-1, LO-2 の計画

供試船型 LO-1 および LO-2 は主要 寸法を L-1 とほぼ同一にし,丸尾教授 によつて求められた細長船近似によるフ ルード数  $F_{K}=0.289$  における最適横載





MODEL NO.	CONDITION	<i>L<sub>PP</sub></i> (m)	B (m)	$d_M$ (m)	TRIM	⊽ (m³)
Ľ-1	FULL LOAD	2 550	0. 3750	0. 1550	0	0. 08176
	BALLAST	2,000		0. 0797	2%L	0. 03679
L-2	FULL LOAD	2 500	0. 3750	0. 1550	0	0. 08188
	BALLAST	2,000		0.0797	2%L	0.03627
LO-1	FULL LOAD	2, 555	0. 3860	0. 1550	0	0.08403
	BALLAST			0. 0788	2%L	0.03783
LO-2	FULL LOAD	2, 500	0. 3860	0.1550	0	0.0835
	BALLAST			0. 0796	2%L	0. 3762
L-3	FULL LOAD	6,000	0. 9000	0. 3720	0	1.1378
	BALLAST			0. 1961	2%L	0. 5450
L-4	FULL LOAD	6.000	0.9000	0. 3720	0	1.1385
	BALLAST	0,000		0. 2003	2%L	0. 5408

## 船型計画における造波抵抗理論の応用例

Table. 3 Particulars, & Test Conditions of Models

面積曲線<sup>(10)</sup>を船体前半部に採用した。この方法によつて船型を計画する際,問題となるのは肋骨線形状,水線面 形状が未定のため一義的に船型を決定することができないことである。そこで LO-1 の船体前半部には丸尾教 援,別所助教授によつて求められた無限喫水型極小造波抵抗船型の水線面形状<sup>(10)</sup>を採用した。これにより最大 幅は L-1 より多少大きくなつている。また排水量を L-1 と合致させるため,船体後半部は L-1 のそれを多少 変更した。一方最適横載面積曲線は F.P で0の値をとり,無限喫水型極小造波抵抗船型の水線面形状は F.P で 有限な幅を有するため両者を完全に満たす船型を得ることはできない。そこで F.P 附近で水線面形状を生かし た LO-1,最適横載面曲線を生かし LO-1 の F.P 附近をけずり落した LO-2 の2つの供試船型を計画した。 第11図,第12図に LO-1 の正面線図ならびに横載面積曲線を示す。この船型の前半部肋骨線形状はV形である。

上記2隻の供試船型の抵抗試験が長さ2.5mの模型船を用いて行なわれた。使用した模型船の要目は第3表に、試験結果を剰余抵抗係数の形で第13図、第14図に示す。

L-1 と比較すると、満載状態ではたしかに理論上の計画速力  $F_N=0.289$  より高速でよい結果を示している が、それより低速では L-1 の方がよい。また脚荷状態でも L-1 の方がよい結果を示している。総じて L-1 よ りよい船型を得ることはできなかつたが、これは LO-1、2 の計画にあたつて無限喫水型極小造波抵抗船型の水 線面形状をそのまま採用したため、肋骨線形状がやや不自然になつたことにも原因があるように思われ、最適横 載面積曲線を採用する際、経験的によいと思われる肋骨線形状と組み合わせた方がよいと思われる。

3-3 L-3, L-4 の計画

上記4船型の試験結果から導かれた事実にもとずいて下記の諸点に留意し最終的に船型 L-3 および L-4 を計



Fig. 15 Body Plans

造船協会論文集 第119号



Fig. 16 Residuary Resistance Coefficients (Full Load Condition)



Fig. 17 Residuary Resistance Coefficients (Ballast Condition)

画した。(1)  $F_N$ =0.30 の最適横載面積曲線を参考にして、より高速で設計する。(2) 船体前半部の肋骨線形 状は L-1, L-2 に近いものを採用することとし、L-1, L-2 に対応するものを L-3, L-2 に対応するものを L-4 とした。(3) 船首バルブを採用する。その大きさは脚荷状態の性能を考慮し、在来の水槽試験資料から 船体中 央横断面積の6%とした。またその前後位置は、L-1 等の船側波形から F.P より後方 2.5%L とした。(4)船 体後半部は L-1 の船尾附近の肋骨線をややV形にして抵抗の減少をはかつた。

このようにして計画した L-3, L-4 の正面線図を第 15 図に, 横載面積曲線は第 12 図に示した。試験は船 舶技術研究所において, 6m の模型船を使用して行なわれた。使用した模型船の主要目を第3表に, その抵抗試 験の結果を剰余抵抗係数で第 16, 17 図 'に示した。なお比較のため, 同図に SR 45 設計図表<sup>(11)</sup>から求めた同 一主要寸法の船型に対する値を示した。これから SR 45 の船型に比し満載, 脚荷両状態を通じて性能が著しく 改善され, 剰余抵抗係数が低くなつている。これにはバルブの効果が含まれていることは確かであるが, 横載面 積曲線の影響も見逃すことはできない。また横載面積曲線は同一であるが, U 型の肋骨線形状を有する L-3 の 方が, 全速度範囲を通じて幾分優れているといえる。

## 4 理論船型の実用化に関する諸問題

第2章および第3章では、造波抵抗と船体形状を結びつける、いわゆる船体表面条件として2重模型近似ならびに細長船近似を用い、第1種 Waveless 船型、第2種 Waveless 船型、最適横載面積曲線等の考え方を大型 油槽船、高速貨物船の船型計画に応用した例について述べた。

すでにみたように、造波抵抗理論を実用する試みには理論船型を実用上の要求から変形する際の問題、あるい は理論上の造波特性が実験的に再現されない等再考すべき点が多い。そこで前章で得られた実験の結果を中心 に造波抵抗理論を実用化する際の諸問題についてふりかえつてみよう。

まず実用上の要求から理論で得られた船型をそのまま使用できず変更した点,ならびに理論のみでは計画でき なかつた諸点を次に列記する。

(1) 簡単な船体縦中心面内の吹き出し分布を用いたため,それから2重模型近似によつて得られた船型の底 部は船体中央部に向つて大きくたれ下つている。これを造波特性は大きく変化しないという仮定のもとに,たれ 下つた船底の部分を切り落して平底の船型とした。

(2) 船体後半部形状は,実用上の要求を満たすものが理論的に定め難く,近似的に定められたとしても粘性の影響等によりその造波特性を具現することが困難なこと,また造波抵抗への寄与が前半部に比べて小さいと考えられたため,在来船型のそれを,特別な配慮をせずに使用した。

(3) 大型油槽船の場合,ここで使用した形の吹き出し分布からは完全な船体平行部が得られないので,わず かに変形して平行部を実現した。

(4) 球状船首を計画した際には,船側波形の観測結果を加味して実験的に最適位置を求めた。

(5) 細長船近似による最適横載面積曲線を用いた場合,肋骨線形状が未定であるため,水線面形状のみを拘束するか,あるいは在来船型のそれを使用した。

大型油槽船に関しては、第1種 Waveless 船型の場合、平底化、後半部形状などの理論船型の変形にも拘わらずほぼ所期の成果が得られ、この考え方は理論にさほどの厳密さを求めなくとも応用できると期待されるが、 バルブの位置および脚荷状態の性能に問題が残つている。バルブの位置のわずかな変化によつて造波効果に格段

の差が生じたことは(第4図),バルブの計画の基本となつた0が0に近いところの素成波の波長から考えると うなづけない面がある。特に前方に突出したバルブの造波特性については,まだ研究の余地があると思われる。 また脚荷状態については、バルブ上面が水面上に露出し著しく性能の劣化をまねいた(第5図)。バルブを脚荷 状態で計画された小型のものとすれば解決される問題ではあるが、バルブが水面に近いところにあるときの流体 力学的性質を明確にすることが先決であろう。第2種 Waveless 船型の場合, "やせた", 高速の船型の例(7) と 相違して, 理論船型を保存して行なつた MT-2 あるいは MT-3 においても理論上予測された性能を得ることが できなかつた。第2種 Waveless 船型の考え方が理論の正確さをかなり必要とするものであり、非線型影響の 大きいと考えられる大型油槽船にこれを適用することに無理があることは事実であろう。しかし第7図でみると これら理論船型の水線面形状は一般に船首が blunt, 肩がゆるやかであり, 実在の船型で肩を落しその部分の排 水量を船首バルブで補つたものがよいとされている事実を裏付けるとも考えられる。一方理論上船首が hollow で肩の張つた,前肩波の非常に大きい船型(MT-4)も計画されたが,造波抵抗の実測値は必ずしも高くない。 これは大型油槽船のように肥大した船型の造波特性が理論上の予測を必ずしも満していないことを考えさせ,特 にバルブの計画等にあたつては誤つた判断を導くおそれもある。すなわち,この MT-4 の船側波形は,(第9図) かなり後退しておりバルブの計画には有利な船型といえるからである。今回は長さ 3m 前後の模型船を使用し て実験を行なつたが特にここにとりあげたような肥大船型の小型模型による試験は難かしく、定量的に調べるに は大型模型を使用すべきであろう。

高速貨物船に関して、第2種 Waveless 船型 L-1 の場合、すでに報告された例<sup>(7)</sup>と同様に、たれ下つた船底. を切り落した影響が現れ、理論上の予測に反し計画速力附近にハンプが生じた。第2種 Waveless 船型のよう に複雑な内部干渉を利用したものでは、船体のいかなる部分の変形も許されるべきではないと考えられ、結局、 最初から平底の船型が得られるような吹き出し分布を考え、その造波抵抗を小さくしてゆくこと<sup>(12)</sup>が必要であ る。また船体後半部形状は、L-1 と平底、前後対象船型<sup>(7)</sup>との比較からも、単に船体中央部で切断して理論船 型と独立な後半部をつなぐという方法に問題があり、粘性等の影響を考えれば理論船型そのものを後半部に使用 する必要もないであろうが、ある程度は前半部と一体に計画する方がよいと考えられる。最適横載面積曲線を種 用した LO-1、LO-2 の場合、水線面形状に無限喫水型極小造波抵抗船型のそれを用い肋骨線形状を決定したこ とは、必ずしも好ましい方法ではなかつたと考えられる。前に述べた平底化の場合と同様、単に水線面形状に採 用しただけではその利点を生かすことができないものと考える。L-3、L-4 の場合、波形の観測結果がないので 確かにはいえないが、球状船首を附加したことの効果は大きいもののようであり、その性能のほぼ満足すべきこ とを考えれば、L-1 の船側波形からバルブの位置を決定する等の粗い方法も用いることができそうである。また 船体前半部の肋骨線形状以上に重要な要素となることも、理論を扱う場合十分認識すべきと考える。

5 結 言

以上,第1種および第2種 Waveless 船型理論,ならびに細長船近似理論を大型油槽船,高速貨物船によつて 代表される実用船型の計画に適用した例について報告した。このうち造波抵抗理論のような線型理論が比較的成 立しやすいと思われる"やせた",フルード数も 0.3 に近い高速貨物船を対象とした場合,また理論にさほどの 厳密さが要求されない大型球状船首の計画にはかなり明るい見通しが得られた。しかし第2種 Waveless 船型 のように理論の厳密さがきびしく要求されるものを,とくに非線型の影響の大きい肥大した,しかもフルード数 が 0.2 を下回る大型油槽船の船型計画に応用するのは,現状ではまだ難点が多く,今後の課題として残された。

終りに著者等が昭和 35 年本研究に着手してから今日まで,終始懇切なご指導を仰いだ東京大学乾教授に厚く お礼申し上げます。また本研究に多大のご協力をいただいた東京大学梶谷博士,ならびに東京大学船型試験水槽 の各位に深く感謝いたします。さらに理論計算のプログラミングに際してご協力を得た三井造船船舶基本設計部. 田淵一郎氏に深く感謝いたします。

#### 参考文献

(1) 富田哲次郎他:大形油槽船主要寸法の経済性におよぼす影響,三井造船技報,第43号 (1963) 安部光弘他:大形油槽船を対象とした球状船首に関する研究,三井造船技報,第49号 (1964) 大楠丹:大形油槽船の船形に関する研究,三井造船技報,第53号 (1966)

- Michell, J. H. : The Wave Resistance of a Ship, Phil. Mag, Vol. 45 (1898)
   Havelock, T. H. The Calculation of Wave Resistance, Proc. of Roy. Soc. Vol. 144 (1934)
- (3) Wigley. W.C.S.: The Theory of the Bulbous Bow and its Practicol Application, TN-EIS (1935)
  - Weinblum, G. : Die Theorie der Wulstschiffe, Shiffbau (1935)
- (4)Inui T. : Wave-Making Resistance of Ships, TSNAME. Vol. 70 (1962)
- (5)池畑光尚他:第1種ウエーブレス船型の実用化に関する研究,造船協会論文集,第114号(1963)
- (6) Satō.S & Others: Effect of a Bulbous Bow upon the Resistance of Ships with Small Length-Beam Ratio and Large Block Coefficient, 造船協会論文集,第 118 号 (1965)
- (7) Inui, T. & Others : Non-Bulbous Hull Forms Cerived from Source Distribution on the Vertical Rectangular Plane, International Seminar on Theoretical Wave Resistance (1963)
- (8) 多賀野寛: Semi-Waveless 船型の研究, 東大修士論文 (1963)
- (9) 高速貨物船の運航性能に関する研究、日本造船研究協会報告、第45号(1964)
- (10) 丸尾孟他:極小造波抵抗の船型,造船協会論文集,第 114 号 (1964)
- (11) Design Charts for the Propulsive Performances of High Speed Cargo Liners, SR 45 (1964)
- (12) Pien, P. C. : The Application of Wave Making Resistance Theory to the Desingn of Ship Hulls with Low Total Resistance, Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, Bergen (1964)