(昭和 48 年 11 月日本造船学会秋季講演会において講演)

肥大船における実船と模型船の伴流分布

正員 並 松 正 明* 正員 村 岡 賢 二*
正員 山 下 誠 也* 正員 久 志 本 仁*

Wake Distribution of Ship and Model on Full Ship Form

by Masaaki Namimatsu, *Member* Kenji Muraoka, *Member*
Seiya Yamashita, *Member* Hitoshi Kushimoto, *Member*

Summary

In order to investigate the wake distribution of full ships, the measurements of the flow around the sterns of a ship and its model were carried out with five-hole pitot tubes. On the ship, a 200,000 D.W.T. tanker, the measured section was situated at about 4.5% of L_{pp} forward from A.P., and on the model some other sections were added besides the corresponding one.

The pressures through the five-hole pitot tubes were measured by using the auto-balancing pressure transducers and the digital record system.

From the experimental results it was confirmed that the complicated flow, so-called stern vortex, existed in the ship wake as well as in the model wake and the method to estimate the wake distribution of a ship from that of the model, which Dr. Sasajima had presented, was good for such a full ship. Moreover, when applying this method to the estimation of the directions of flow in the ship wake, the estimated directions of flow were in considerable agreement with the experimental values.

1 緒 言

肥大船型の模型による水槽試験では船尾に大きくねじれた渦状の流れがみとめられる。一方模型船の自航試験及び実船の試運転に於けるプロペラ軸のトルク又はスラストから算出した伴流係数は模型と実船では大きく異っており、このことは実船の船尾の流場の推定を困難にしている。実船の船尾流場を知ることは推進性能の尺度影響やプロペラの最適設計、起振力の研究にとっても重要であることはいうまでもないが、船尾の肥大度を増して更に経済的な船型を開発しようとする場合にも問題点の一つとなる。

近年、肥大船の船尾流場については色々の研究^{1,2,3,4 etc)}がなされており実船での計測も行われるようになった^{3,4,5,6)}。然しながら定量的に実際の設計に使うには、より十分な検討が必要とされており、たまたま著者らは D.W. 20 万トン型の新造船により実船の伴流分布を測定し模型船のものと比較検討したので、その概要を報告する。実船に於ける計測は船底の一部及びプロペラ前方の一断面について、模型船ではこれらを含む前後の数個所の断面で行った。

2 船底の境界層計測

D.W. 20 万トン型タンカーの大嶋丸で船に常設の電磁式流速計を利用し、船底の境界層の形状を測定した。供試船の要目は Table 1 に示し測定位置は船首から 258 m, 船体中心線から 0.3 m の船底である。流速計支持棒を手動で出し入れして流速計を移動し船底と垂直な線上の流速分布を測ったものを、同位置に於ける模型試験の結果と比較して Fig.1 に U/U_0 にて示す。但し U は船体から $y(m)$ の所の流速で、 U_0 は分布曲線上から推定した境界層外端の速度である。Fig.1 中の表は境界層係数の比較で EXP. は実測値、CAL. は局部摩擦係数に

* 石川島播磨重工業(株) 技術研究所

Table 1 Particulars and Test Condition

Condition		Ship		Model	
		Full Load	Ballast	Full Load	Ballast
Hull	L_{pp}	300 M		7 M	
	B	50		1.167	
	d_M	18.86 M (20.00)	10.67 M	0.443 M (0.467)	0.249 M
	d_F	"	8.63	"	0.201
	d_A	"	12.72	"	0.297
	Δ	241,200 T (256,200)	133,100 T	3.004 T (3.175)	1.355 T
Pro- peller	C_E	0.83 (0.84)	0.80	0.83 (0.84)	0.80
	D_P	9.20 M		0.210 M	
	H/D_P	0.690		0.710	
Water Temp.		21.0°C (17.0°C)	21.0°C	13.0°C (15.0°C)	13.4°C
Name		Ryukoo-Marun (& Oshima Maru)		M. S. 300

Fig.1 Velocity Distribution of Boundary Layer at Bottom of Ship

Ludwig-Tillman の式を使った Cumpsty-Head の方法⁷⁾ による計算値である。計算は船首端から乱流境界層が始まったものとしたものであり、模型と実船の尺度影響に関しても一応実測値と同じ傾向を示している。

3 プロペラ前方の伴流計測

3.1 実船実験の方法

a) 試験状態：20 万トン型タンカー、龍光丸が昭和 47 年 11 月 13 日～17 日に石川島播磨重工業(株)横浜第 2 工場より相生第 1 工場にファイナルドックのため回航される途中でプロペラ前方の伴流を計測した。満載状態の計測を御前崎沖と大王崎沖の間で、バラスト状態の計測を日ノ御崎沖の電波ログコースで速力試験と同時に実施した。いずれも海面状態は非常におだやかで、試験結果に対する風や波浪の修正を必要としない程度であった。試験時の船の要目を Table 1 に示す。この龍光丸はさきに船底の境界層を計測した大嶋丸と同型船である。

b) 計測位置：A. P. より 13.4 m (約 4.5% L_{pp}) でプロペラから約 0.93 D_p 前方の左舷で測定した。計測位置は出来るだけプロペラに入る直前の流れで、若し実船でも存在するものなら渦状の流れをとらえることが出来ること、記録関係の計器との連結が確実にやれるところという条件で決定したものである。又左舷としたのは右舷よりも海水の船内への取入口および取出口が少なかったことと岸壁への係留等から比較的安全であったことによる。

c) ビトー管とその取付：出来るだけ精度良く、船体やプロペラの近くを安全に測るため色々の方法を比較

Fig.2 Truss, Pitot Tube and Joint

ピトー管と2本の JIS 型静圧管を取付けた。5孔ピトー管は直径 80 mm, 孔角 30 度型で SR 107⁴⁾にて使用のものとして支柱の長さおよび配管部分の様子をのぞいて全く同一である。5孔ピトー管の径が 80 ϕ と比較的大きいのは臨界レイノルズ数の影響で生じる検定曲線の変曲部を避けるためで、トラス等もこれに比例して割合大掛りのものとなった。

Fig.4 Flow Pattern of Ship at Full Load Condition

Fig.3 Flow Chart

検討した結果、5孔ピトー管を船体から張出したトラスに固定する方式とした。Fig.2 に示すとき 114.3 ϕ ~139.8 ϕ のパイプよりなるトラスに 30 本の 5孔

のものが用いられた。船外には油圧制御等に用いる 5 芯の銅管 (5 ϕ) 入り導管を用いてピトー管と船内取込口とをむすんだ。船内への取込みは Fig.2 (c) に示すごとく銅管を貫通して鑢付した鋼板を通して船内配管用の 3 ϕ $\times$ 6 ϕ ビニールチューブに接続した。このビニールチューブは安全用のバルブを通して引かれており、取込口に異状が発生したときはビニールチューブを切断して船の内外を遮断出来るようにした。この方法は船体の一部に加工をするので試験後に復旧工事は必要はあるが、外板に沿って甲板上まで配管するよりも足場も簡単で安全に作業が出来、試験中に浮遊物等で導管を破損する割合も少ないばかりでなく、ピトー管の圧力を導く途中で負圧になることもないので比較的簡単に圧力が測れるという利点がある。

Fig.5 Flow Pattern of Ship at Ballast Condition

P_C - P_{ST} として測定した。但し P_{ST} は静圧管の圧力である。圧力変換器の出力は2秒間の完全な積分値が求まるADコンバーターを通してデジタル記録としたがサンプリングは原則として1個のピトー管当り連続15回 $[(2 \text{ 秒} + \alpha) \times 15 = \text{約 } 30 \text{ 秒}]$ 、但し α はADコンバーターの切換時間で、約0.01秒とした。又これと同時にモニター用としてペンレコーダーによるアナログ記録も行ったが解析には使用していない。以上に関するフローチャートをFig.3に示す。なお計測員は記録係2名、連絡係1名、総指揮1名の計4名で実施したが試験時には2名でも計測可能のシステムとなっている。

3.2 実船試験の結果

ピトー管は前にも述べたようにSR 107のもとの同一のものであるので、同部会が船舶技術研究所に依頼して検定した検定曲線⁴⁾を使用して解析した。この検定曲線は球の臨界レイノルズ数を上下する付近で大きな曲りを有し、流入角の大きいところでは特に変化が大きい。今回の実験は冬期(11月)に実施したにもかかわらず潮流の関係で水温が21℃と比較的高かったことと、ピトー管に船体にほぼ平行の20度の初期水平傾斜をつけたことが幸いして、ほとんどが臨界レイノルズ数より高い範囲の検定曲線を使用した。

Fig.4とFig.5にそれぞれ満載及びバラスト状態の計測結果を示す。これらのベクトル図中の矢印の根本が各ピトー管の位置であり等高線は $W=1-V_x/V_s$ を示す。但し V_x は船の中心線方向の分速度である。Fig.6に本論文における座標のとり方を示す。また V_s は船速であり電波ログによる速力試験の結果で修正した船底付電磁ログの値を使用した。図(b)の速力が違うときの比較図は、実施した速力差程度ではレイノルズ数影響を論

Fig.7 Measured Section of Model

Fig.6 Co-ordinate System

d) 圧力計測と記録：一度に1本の5孔ピトー管の全孔の圧力を測り30回の切換で30本のピトー管の圧力が測れるように切換用電磁バルブを設置し、5個の差圧型圧力変換器(自動平衡式、1.0 kg/cm²型、精度0.2%級、応答周波数1 Hz/Full span)に接続した。5孔の圧力、 P_C , P_T , P_B , P_P , P_S を P_C - P_T , P_C - P_B , P_C - P_P , P_C - P_S 及び

論じるには差が少なすぎるので、Fig.5(a)に於ける往復航の差と共に本実験の精度と再現性を推察する資料として示す。

3.3 模型試験とその結果

模型試験は7m模型に対して直径10φの5孔ピトー管1本をパルスモーター駆動のY-Zトラバース装置で移動して計測した。実船の場合と同様の圧力変換器(但し0.05 kg/cm²型)及び記録装置を使用した。計測位置と結果をFig.7とFig.8, 9に示す。また、船の長さ方向の流れの様子をFig.10

Fig.8 Flow Pattern of Model at Full Load Condition

Fig.9 Flow Pattern of Model at Ballast Condition

Fig.10 Vector Pattern of Flow

Fig.11 Comparison of V_x/V_s at Typical Water Lines Fig.12 Comparison of β_V and β_H at Typical Water Lines

に示す。自航状態のプロペラ荷重度は自航試験から求めた実船の MCR のものに対応している。なお装置の都合で模型では右舷の伴流を測った。実船では左舷で測ったのであるが、Fig. 8 (d), Fig. 9 (c) からみても実船計測位置におけるプロペラ有無の影響は少ないのでプロペラ回転方向の影響は今回の考察では無視している。

4 実船と模型の伴流分布の比較

4.1 実船計測面での比較

まず実験結果を単純に比べると Fig. 13 にみられるごとく実船でも模型船とほぼ同じ位の高さに渦状の流れがみとめられる。特にバラスト状態では実船、模型船とも等伴流線が大きな半島状となり同じ性質の流場であることを明確に示している。然しながら、それぞれの位置に於ける流速と流向は実船と模型船ではかなり違っている。定量的な検討を行うために、代表的な Water line 100 W.L., 140 W.L., 180 W.L. に於ける流速と流向の変化を比較したものが Fig. 11, 12 である。但し 100, 140, 180 は模型船に於ける各 W.L. の Base line からの高さを示し、140 W.L. はほぼプロペラ軸の高さである。 β_H, β_V は流れの水平及び垂直方向の角度を示す。

模型船の伴流分布から実船の伴流分布を求める方法に関しては笹島氏の方法¹⁾があるが、この方法により模型船の V_X/V_S を実船に移動したものを Fig. 11 中に一点鎖線で示してある。同推定法は実船と模型船の C_F の比により関係づけるのであるが本船の場合 $C_{FM}/(C_{FS}+4C_F)=1.95$ (但し C_F は Schoenherr 式) となっている。さきに船底で求めた境界層の厚さもほぼこの比に近い関係にあるので、これは境界層厚さの比といってもよいが、境界層内の速度変化は Shape factor, H 又は n が異なるごとくレイノルズ数によりかなり違っている。然しながらこの違いを船尾の伴流の修正にもちこんでも今のところ推定法の改良にはむずびつかない。

この図でわかるように笹島氏の方法はきわめて有効であって複雑な船尾流場そのものの解明と Simulation が出来ない限り、伴流分布を C_F の

比により対応づけるというマクロの方法が手間が簡単だという点からもすぐれているようである。次に流向の相関についてみると大変興味深いことには、実船と模型船では V_X/V_S が等しい所の流向がほぼ同じ値となっている。即ち Fig. 12 の β_H 又は β_V は Fig. 11 における実船と模型船の y 方向の移動量と大体同じである。そこで β_H, β_V もまた V_X のときと同様に C_F の比によって移動したものを Fig. 12 中に一点鎖線で示すが、これは実測値とわりあい良く合っている。流速および流向が C_F の比で関係づけられるのであるから、模型試験で求めた Body Plan 上のベクトル図の矢印を W.L. にそって C_F の比だけ移動出来ることになる。この方法で得た推定実船伴流図と実船計測による伴流図との比較を

Fig. 13 Comparison of Flow Pattern between Ship and Model

Fig. 14 Estimated Flow Pattern of Ship

Fig. 14 に示す。

この図から、下方の推定は上方向よくないことがわかるが、本図は簡単のため各 W.L. に沿って対応させたものであり、これを流れの方向、例えばポテンシャル流の方向に沿って移動すると比較的実測値と合うようである。また本図は粘性境界層の排除効果によるポテンシャル伴流の修正も省略してあるが、何れにしても大きな違いはない。

4.2 プロペラ面に於ける実船の伴流

船尾の流れは今まで述べたごとく非常に複雑ではあるが全体的にみると例えば Fig. 10 からもうかがわれるように、ほぼ船体に沿って前方から後方に急に流れの形状を大幅に変えることもなく流れているとみてよい。そして、実船での計測面(⑩面)で渦があるにもかかわらず渦のない境界層の考え方、即ち C_F の比で実船と模型船の伴流分布が関係づけられたのであるから、同じような渦が存在するプロペラ面(④面)でも上に述べた修正法が適用出来るとしても大きな誤りにはならないと考えられる。そこでプロペラ位置に於ける模型船の伴流から実船の伴流を、上記の方法で推定しプロペラ面について積分して Nominal Wake を出し、自航試験および海上試運転から出した Effective Wake と比較したものを Table 2 に示す。添字の N は Nominal Wake, M は Model, S は Ship, Q は Torque Identity, T は Thrust Identity を示し Effective Wake には特に付してない。又模型試験のプロペラ位置の伴流分布は5孔ピトー管と単孔ピトー管とで測ったので、単孔のデータによるものを()で示す。

単孔管は X 方向に取付けたものであるが、かなりゆるい方向特性曲線を有するので、斜流中では、5孔管で測った X 方向の分速度と同じ値にはならないので、この種の比較には注意が必要である。

さて、Table 2 に示す Nominal Wake と Effective Wake の比較をみると模型船の場合、満載状態の $W_{NM}/W_{QM}=1.16$ は例えば渡辺氏の論文中⁹⁾の例からみても一応妥当な値と思われる。一方実船では $W_{NS}/W_{QS}=0.86$ となり模型船とはかなり違った値である。これは実船伴流の推定法の精度不足のためか、プロペラと流れの相互影響を考慮していないためか、或いは船尾の不安定流れの差か、今後の調査の必要が痛感されるところである。

Table 2 Comparison of Wake Fraction

Condition	Model				Ship		
	Wake T.	Self-Propulsion T.		Ratio	Estimated	Sea Trial	Ratio
	W_{NM}	W_{TM}	W_{QM}	W_{NM}/W_{QM}	W_{NS}	W_{QS}	W_{NS}/W_{QS}
Full	0.58(0.51)	0.52	0.50	1.16(1.02)	0.37(0.30)	0.43	0.86(0.70)
Ballast	(0.54)	0.61	0.59	(0.92)	(0.36)	0.48	(0.75)

() : by JIS Type Single Hole Pitot Tube

5 結 言

D. W. 20 万トン型タンカーの実船でプロペラ前方の流場を5孔ピトー管により、又機関室前方付近の船底の境界層の形を電磁式流速計により測定し、模型試験による値と比較した。得た主な結果を列記すると、

- (1) この程度の実船でも模型船と同様に渦状の流れが存在し、その分布範囲は模型船より狭い。
- (2) 実船の等伴流線は模型船の等伴流線を C_F の比又は境界層厚さの比だけ縮小したものにほぼ等しいという笹島氏の方法の妥当性を確認した。
- (3) 実船の伴流の流向分布は、模型船の流向図を上記(2)相当分だけ縮めたものに大体等しい。即ち流速係数と流向は実船と模型船では、ほぼ同一位置で対応している。
- (4) 船底のように平坦な場所に於ける境界層の厚さと形状は Cumpsty-Head 等の計算法により模型と実船のレイノルズ数影響も概算出来る。
- (5) 実船の流場を5孔ピトー管を使って測る場合、自動平衡型圧力変換器及び完全積分型 AD コンバーターによるデジタル計測は精度や労力の面で優れていると思われる。

以上の結論には今までに発表された文献^{1,3,4)}と同様の傾向又は内容のものも含まれているが、この複雑な船尾の流れの解明には今後さらに精度の高い実験による事実の確認やデータの集積が必要である。また理論的研究が

進み更に合理的に実船の流場が推定出来て優れた肥大船型の開発に役立つことを期待する。

謝 辞

本研究を実施するに当って、新造船で実験することを快くご承諾下さった三光汽船株式会社、出光タンカー株式会社、また色々ご助言とご援助を頂いた大阪大学、船舶技術研究所、佐世保重工業株式会社はじめ SR 107 部会の各位に厚くお礼申し上げます。石川島播磨重工業株式会社・基本設計部国安部長、横浜第2工場上林部長、石井部長、技術研究所神中部長、田崎部長はじめ関係者のご指導とご協力を得たことを感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 笹島 外：肥大船の伴流分布，造船協会論文集第 120 号（昭和 41 年）。
 - 2) 田古里 外：肥大船船尾ビルジ渦に関する実験的研究，日本造船学会論文集第 123 号（昭和 43 年）。
 - 3) 横尾 外：実船と模型船とにおける伴流分布の比較，日本造船学会論文集第 130 号（昭和 46 年）。
 - 4) SR 第 107 部会：巨大船の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究，日本造船研究協会報告第 73 号（昭和 48 年）。
 - 5) 高橋 外：実船における船尾流速分布の計測，西部造船会々報 42 号（昭和 46 年）。
 - 6) K. Taniguchi & Others：Comparison of Velocity Distribution in the Boundary Layer between Ship and Model，日本造船学会論文集第 127 号（昭和 45 年）。
 - 7) 波多野 外：三次元境界層理論による船の摩擦抵抗の計算，日本造船学会論文集第 130 号（昭和 46 年）。
 - 8) 渡辺 外：肥大船の自航試験に現われる不安定現象について，日本造船学会論文集第 126 号（昭和 44 年）。
-