(昭和 43 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

肥大船船尾ビルジ渦に関する実験的研究

正員 田古里哲夫* 正員 増永公明*
岡本恒* 正員 馬場信義*

An Experimental Study on the Stern Bilge Vortices of Full Hull Form

By Tetsuo Tagori, *Member*, Kōmei Masunaga, *Member*

Hisashi Okamoto, Nobuyoshi Baba, *Member*

Summary

At the bilge of full ordinary hull form, a pair of vortices is generated. To study the scale effect of the bilge vortices, the flow observations and velocity measurements on a small model of oil tanker were carried out in the circulating water channel, by means of boundary layer suction. The methods employed for flow observations were tuft grid, twin tufts, and chemical film. The small total head tube and static head tube were utilized for velocity profile measurements, and a small blade wheel current meter for wake distribution.

Consequently, it is cleared that, by the boundary layer suction at the fore part of run, the axis of bilge vortices comes near the center plane and to lower position, the wake reduces considerably, the resistance coefficient induced by stern bilge vortices is nearly constant with various suction rate, and the large values of effective Reynolds number for stern bilge vortices are obtained. And, by the results of observations of limiting streamlines with twin tufts and chemical film, it is considered that the three dimensional flow separation occurs at stern bilge.

In addition, the visualizations of flow at the stern bilge were carried out by means of electrolysis of water and injection of aluminium powder suspension. As a result, it is observed that the flow separates at the stern bilge, so bilge vortices are generated.

1 緒 言

普通型船尾をもつ肥大船では船尾ビルジ部からほぼ主流方向に軸をもつ渦(ビルジ渦)が一對発生することが知られている。模型実験によるとこの渦による造渦抵抗は船体抵抗のかなりの部分をしめり²⁾³⁾, また船尾の境界層はこのビルジ渦により吹き掃われ巻き込まれ, 渦の軸が普通型船尾の場合プロペラ回転面内を通過するので, 抵抗推進性能に対する影響も大きい⁴⁾⁵⁾。

肥大船の出現とともに各所でビルジ渦の研究が行なわれるようになったが, この渦に対する尺度影響や渦の成因についてはまだ十分には解明されていない感がある。実船では, ビルジ渦は結果的には模型よりも扁平になり軸が船体中心線面に近づくことになる伴流の計算例がある⁶⁾。しかし, この計算ではビルジ渦に対する尺度影響を十分に採り入れているとは思われない。別所の肋骨線理論⁶⁾によると造渦抵抗に対する尺度影響はないと考えられるが, まだ実験的に確められていない。渦の発生には境界層が関係し, また粘性による拡散なども起きるので尺度影響は何らかの形で存在すると考えられる。模型と実船の相関を調べるためにも, このビルジ渦に対する尺度影響の調査が必要であろう。

ビルジ渦に対する尺度影響を実験的に調べるには相似模型を使用すれば良いが, 広範囲にレイノルズ数を変えるのは容易ではない。もしビルジ渦発生域前方で境界層の吸込みを行なえば, 境界層厚が減少し⁷⁾ 渦発生域に対し見かけ上レイノルズ数を大きく出来ると考えられる。従つて今回はまずこの方法により尺度影響の大体の傾向

* 東京大学工学部

を知るために、東京大学工学部舶用機械工学科回流水槽において油槽船小型模型1隻のみを使用し、境界層のスリット吸込みを行ないながら船尾流れの観察、境界層内速度分布の測定、および伴流分布の測定を行なった。

なお、以上の実験により、従来不明確であつた感があるビルジ渦の成因が推定出来たので、さらに直接的にその成因を確かめるため、ビルジ部付近の流れの観察を試みた。

2 供 試 模 型

本実験に使用した模型は L_{PP} 2.0m, C_B 0.81 の普通型船首尾をもつ油槽船模型 (M.No. MGT-1) である。その主要目を Table 1 に、またその線図を Fig.1 に示す。

Table 1 Principal Dimensions of Model (M.No. MGT-1)
on Full Load Condition

L_{PP} m	L_{WL} m	B m	T_A m	T_F m	∇ m ³	S m ²	C_B
2.000	2.049	0.332	0.112	0.112	0.0604	0.946	0.81

3 境界層吸込みによるビルジ渦尺度影響に関する実験

(1) 実験方法および装置

境界層吸込み流路はスリットから導流板を設けた室, 50 mm ϕ 管, 渦巻ポンプ, 流量調整弁を経て回流水槽測定部下流に設けた排出口に至るものである。使用した渦巻ポンプの主要目を Table 2 に示す。

まず tuft grid による流れの観察¹⁾⁸⁾を行なつて, ビルジ渦に対する境界層吸込みの影響が明らかに認められ始める吸込み流量を知り, この流量を含む 2~3 の流量について他の各種の実験を行なうことにした。

流れの観察法としては上述の tuft grid 法の外に 2 段糸の方法³⁾⁸⁾と薬品塗膜法⁹⁾¹⁰⁾とを採用した。

Tuft grid の grid には 0.3 mm ϕ 黄銅線を使用し 10 mm 樹目の金網を製作し用いた。糸には 10 番白色ナイロンレース糸を使用し, 長さ 50 mm とし自由端を赤く染めた。Tuft grid の位置は AP 下流約 0.04 L_{PP} とした。渦付近の流れは変動が激しいので, 撮影は 35 mm カメラにより 1 流量当り約 10 回行ない平均流向を求められるようにし, また 8 mm 映画撮影も行なうことにした。

2 段糸の方法では, 糸は主として船側用に, 棒は船底用に用いた。2 段糸および棒を Fig. 4 に示す。取付位置は S.No. 2 $\frac{1}{2}$, 2, 1 $\frac{1}{2}$, 1, 1/2 各位置から下流 1.5% L_{PP} の横断面に約 30 mm 間隔で設けた。糸または棒による攪乱の影響を小さくするため船側部流れの観察は右舷, 船底部流れの観察は左舷と別けて行なつた。撮影は 35 mm カメラにより 1 流量当り約 10 回行ない, また 8 mm 映画撮影も行なうことにした。

薬品塗膜法には安息香酸を使用した。安息香酸のアセトン溶液を模型表面に吹付け塗装する時できる安息香酸微粒により, 塗膜がその下流で線状に早く溶解する現象を利用して限界流線を知ることにした。針金も粗く植え補助的に使用した。

S.No. 1 付近以後はビルジ渦により船底の境界層が船側に巻き込まれ, 模型表面付近の速度分布は単純ではなくなる。従つて吸込みによる境界層厚と速度分布の変化を知るために, ビルジ渦発生開始点より前方と思われる S.No. 2 のスリット直後で船側および船底それぞれ 1 個処で速度分布の測定を行なうことにした。Fig. 1 と 2 に測定位置 (記号 X と Y) を示す。速度測定は右舷側の総圧管および左舷側の静圧管により行ない, 模型表面からの距離を順次に変えた。総圧管および静圧管を Fig. 5 に示す。なお糸により流向を毎回調べ両管とも流れに正対させた。

Fig. 5 Total Head Tube and Static Head Tube

Table 2 Principal Dimensions of Pump

Type	Takasago Centrifugal Pump
Dia	50 mm
Flux	0.16~0.32 m ³ /min
Head	10~7 m
Rev.	1400 rpm
Motor	0.75 kW Induction Motor

Fig. 4 Twin Tuft and Twin Rod

伴流分布の測定は tuft grid 位置とプロペラ回転面位置とで行なうことにした。流速計には直径 10 mm の小型翼車式流速計を自作し使用した。この流速計は固定および回転電極間の距離変化による水の電気抵抗変化を利用し翼車の回転数を知るものである。Fig. 6 の流速計形状を示す。

(2) 実験結果

肥大船では低フルード数のため船尾流れに及ぼすフルード数 F_n の影響が小さいので, 模型の速度 U_0 は 0.745 m/s ($F_n=0.167$) 1 点のみとし, 満載状態について実験した。

Fig. 6 Small Current Meter

Fig. 8 Results of Flow Observation by means of Twin Tufts and Rods, $F_n = 0.167$ Fig. 7 Results of Observation of Flow at $0.04 L_{PP}$ Downstream of AP by means of Tuft Grid, $F_n = 0.167$

まず、吸込み流量 Q を 0 から最大まで変えながら、tuft grid の方法により AP 下流約 $0.04 L_{PP}$ の流れを観察した。その結果、吸込みの影響が明らかに認められ始める流量があった。この流量 ($1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) と最大流量 ($3.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) および流量 0 を実験流量とした。

Tuft grid による流れの観察結果の例を Fig. 7 に示す。船尾ビルジ渦は吸込みにより、渦の中心が船体中心線面に近づき位置が下がる傾向が認められる。吸込みを行なうと、糸の投影長さが減っているが、渦の強さに対する影響は tuft grid による実験だけでは不明である。

2 段糸および棒による流れの観察結果を Fig. 8 に示す。船側では、プロペラ孔直前最上位置の模型表面密接の糸が吸込みにより大きく向きを変えほぼ水平になり、渦の上面の位置が下がったことを示している。また、プロペラ孔前方へ S. No. 1 $\frac{1}{2}$ 間の流向の傾斜が吸込みによりやや減少している。その他の船側と船底では吸込みによる流向の変化は殆んど認められなかった。

薬品塗膜法による限界流線観察結果を Fig. 9 に示す。軸対称流ではない 3 次元の流れの剥離の場合は 2 次元の流れや軸対称流の時と異なり、剥離線は限界流線の包絡線となる¹¹⁾。従来の翼などの実験結果から、もし船尾に 3 次元剥離が発生すると、Fig. 10 に示すような限界流線が現われると考えられる。Fig. 8 で破線で示す糸は大体限界流線を示すものと考えられるが、この糸の示す流向および Fig. 9 に示す限界流線は Fig. 10 に類似する傾向を示し、ビルジ付近に剥離線その上方に付着線が存在すると推定できる。またビルジ付近では安息香酸微粒下流に現われる溶解線が見られない。従つて以上の実験からビルジ部に 3 次元剥離が起きていて、そのため船尾ビルジ渦が発生すると推定される。剥離線の位置は比較的容易に推定出来るが、付着線の位置はやや不明瞭である。

 Fig. 9 Sketch of Results of Limiting Streamlines Observation by Chemical Method, $F_n=0.167$

実船では針路不安定で模型では安定な肥大船模型の船尾に、フィン S.No. 1/4~1 1/2 間の船側に取付けると針路不安定になることがあるといわれる。Fig. 8 ではフィンにより流向が揃う AP~S.No. 1 の上方の領域で吸込みにより流向が揃っている。従つて本実験のような吸込みを行なうと針路不安定になる可能性があると推定される。

スリット直後における境界層内速度分布の測定結果を境界層外端流速 U との比 u/U と表面からの距離 y' とで Fig. 11 に示す。吸込み流量 0 の時スリットにより模型表面付近の流れが影響を受け trip wire 直後の流れのような流速分布に変形している。

Fig. 10 Limiting Streamlines at 3 Dimensional Separation Area

従つてスリットを閉じて測定を再び行なつた。流量 0 スリット開の時の流速分布の変形は下流で再び正常な形状に復し、他種の実験ではその影響が小さいと考えて、他種の実験はスリット閉の時については省略した。Fig. 11 から吸込みにより境界層厚さを非常に減らしうることが明瞭である。

この速度分布測定結果から運動量厚を求め、船尾ビルジ渦発生に対する L_{PP} を使つた見かけ上のレイノルズ数を概算した。

長さ L_A , L_B の 2 つの相似模型 A , B があり、同一フルード数におけるそれぞれの船尾の運動量厚 θ_{A2} , θ_{B2} とそれぞれの摩擦抵抗係数 C_{FA} , C_{FB} との間に次の関係が成立するものとする。

$$\frac{\theta_{A2}/L_A}{\theta_{B2}/L_B} = \frac{C_{FA}}{C_{FB}} \quad (1)$$

簡単のため 2 次元で考え、前端から乱流境界層が発生している場合、運動量厚 θ は次の近似式で与えられる。

$$\theta \left(\frac{U\theta}{\nu} \right)^{1/n} = \frac{C}{U^b} \int_0^x U^b dx \quad (2)$$

ただし、 U は境界層外端流速、 ν は動粘性係数、 x は前端から表面に沿つて測つた長さ、 n と b は常数、 C は常数またはレイノルズ数の関数である。(2) から模型 A , B の船尾に近い速度分布測定位置における運動量厚 θ_{A1} , θ_{B1} の間には次の関係がある。

 Fig. 11 Velocity Profile, $F_n=0.167$

$$\frac{\theta_{A1}/L_A}{\theta_{B1}/L_B} = \frac{\theta_{A2}/L_A}{\theta_{B2}/L_B} \quad (3)$$

模型Aに本実験における吸込みを行なつた場合の速度分布測定位置における運動量厚を θ_{AS1} とする。 $\theta_{AS1}/L_A = \theta_{B1}/L_B$ のとき、模型Aが吸込みにより見かけ上大きくなり、吸込みを行なわない模型Bと等価になつたものとする、

$$\frac{\theta_{A1}}{\theta_{AS1}} = \frac{C_{FA}}{C_{FB}} \quad (4)$$

(4)から求めた C_{FB} から見かけ上のレイノルズ数 Re_{B1} を求める。模型Aの吸込み下流では、境界層の発達には吸込みを行なわない模型Bよりも著しいと考えられるので、 Re_{B1} は吸込み直後のビルジ渦発生域前端付近に対する見かけ上のレイノルズ数といえる。

船尾ビルジ渦発生域後端付近に対する見かけ上のレイノルズ数 Re_{B2} は吸込みの下流での境界層の発達を考える必要があろう。簡単のために次のような概算法を採用した。吸込み直後の運動量厚 θ_{AS1} を与える見かけの物体前端の位置（測定位置の前方 l の距離）を(2)から求め、(2)により船尾の運動量厚 θ_{AS2} を求める。この場合レイノルズ数は $10^8 \sim 10^9$ の桁であるから、 $n=4$, $b=4$ とする。 C は一般には 0.016 と与えられているが、測定位置 X, Y を通る流線上の境界層外端流速測定結果と吸込み流量 0 の時の運動量厚測定値とから(2)により C の値を求めて使用する。吸込みを行なわない場合の模型Aの船尾における運動量厚 θ_{A2} も(2)と境界層外端流速測定結果を使用して求める。 $\theta_{AS2}/L_A = \theta_{B2}/L_B$ のとき、模型Aが吸込みにより見かけ上大きくなり、吸込みを行なわない模型Bと等価になつたものとする、

$$\frac{\theta_{A2}}{\theta_{AS2}} = \frac{C_{FA}}{C_{FB}} \quad (5)$$

Fig. 12 Velocity Distribution around Model, $F_n=0.167$

(5)により求めた C_{FB} から見かけ上のレイノルズ数 Re_{B2} を概算する。船底についての計算には Y 点での測定値から求めた l と船底中心線上境界層外端流速を使用した。

境界層外端流速は前述の小型翼車式流速計により測定した。その結果を Fig. 12 に示す。

以上の方法で Re_{B1} と Re_{B2} を概算した結果を Table 3 に示す。なお、摩擦抵抗係数には便宜上 Schoenherr の値を使用した。船側と船底とを別けて吸込みを行なわなかつたので、船側と船底とで Re_{B1} や Re_{B2} が一致していない。船底における Re_{B1} は期待以上の大きな値となつたが、吸込み下流での境界層の発達を考えた見かけ

のレイノルズ数 Re_{B2} は 10^8 の桁にとどまつた。船尾ビルジ渦発生に対する平均の見かけ上のレイノルズ数は Re_{B1} と Re_{B2} の中間にあると思われる。もしスリットを剥離線および付着線の前方近くにはほぼ平行に設けるなどして吸込み効果が均等になるようにすれば、ビルジ渦発生域前端と後端に対する見かけ上のレイノルズ

数をはば一致させ、ビルジ渦発生域全域に対し 10^9 程度の見かけ上のレイノルズ数が期待できると考えられる。

伴流分布測定結果を Fig. 13 および 14 に示す。当然ではあるが、吸込みにより伴流係数 w が大幅に減少している。また、tuft grid により求めた渦の中心位置と伴流係数の大きい台地状領域の中心とは一致しないことが明瞭である。

AP 下流約 $0.04L_{PP}$ の位置における伴流分布測定結果と、tuft grid による流れの観察結果から求めた平均流向とから船尾ビルジ渦造渦抵抗係数 C_{VOR} を概算した。主流に平行な軸をもつ渦による造渦抵抗 R_{VOR} は、調査面を船体の十分後方で主流に直角な断面 I にとると、次式で与えられる。

Table 3 Equivalent Reynolds Number

Qm^3/s	Data of X Position Used		Data of Y Position Used	
	Re_{B1}	Re_{B2}	Re_{B1}	Re_{B2}
0	1.55×10^8			
1.37×10^{-3}	4.6×10^8	2.8×10^8	1.3×10^9	2.2×10^8
3.3×10^{-3}	5.5×10^8	1.0×10^8	1.2×10^{10}	9.8×10^8

 Fig.13 Wake Distribution at Propeller Position, $F_n=0.167$

 Fig.14 Wake Distribution at $0.04 L_{PP}$ Downstream of AP, $F_n=0.167$

$$R_{\text{VOR}} = \frac{\rho}{2} \iint_V (\zeta^2 + \eta^2) dy dz \quad (6)$$

ただし、 ρ は密度、 ζ, η はそれぞれ調査面内の水平軸 y 、垂直軸 z 方向速度成分である。模型の下流では、模型から遠ざかるに従いビルジ渦の位置変動が激しくなり、甚しい時には一対の渦が瞬間的に重なり合つて消えることもある。また拡散も甚しいようである。従つて調査面はかなり船体に近い AP 下流約 $0.04 L_{PP}$ に選んだ。この位置でも渦はかなり拡散し、またビルジ渦以外のポテンシャル流による ζ, η が少しあると思われる。このビルジ渦以外の分の ζ, η はビルジ渦による分に比し比較的小さく、また吸込みの影響を殆んど受けないと考えられるので、 ζ, η 測定値をそのまま使用して(6)により計算した。従つて、ビルジ渦造渦抵抗係数は小さい一定値が付加され、しかも減衰分だけ小さく求まることになる。しかしビルジ渦造渦抵抗係数に及ぼす吸込みの影響を知ることではできるとと思われる。以上の計算結果を Table 4 に示す。普通型船首の船底には交叉流が発生し、その渦は船尾ビルジ渦とは逆向きの回転方向である。従つてもしこの交叉流が交叉したまま船尾まで流れて来れば、境界層の吸込みにより船尾流れに及ぼす船首船底交叉流の影響が減少し、船尾における流れの状態が変化し、船尾調査面で求めた船尾ビルジ渦造渦抵抗は吸込みを行なわない模型に比較して大きく出ることがあると考えられる。しかし本実験の場合 2 段系および薬品塗膜による流れの観察によると、船尾船底においては S. No. 2 直前の流向から見て交叉流は弱く、S. No. 2 直後の流向には吸込みによる変化が認められない。従つて吸込みによる交叉流減少の影響は本実験の場合小さいと思われる。Table 4 では、ビルジ渦造渦抵抗係数の吸込みによる変化が小さいので、尺度影響は小さいものではないかと推定される。

Table 4 Resistance Coefficient Induced by Stern Bilge Vortices

$Q \text{ m}^3/\text{s}$	$C_{\text{VOR}} = \frac{R_{\text{VOR}}}{\frac{1}{2} \rho S U_0^2}$
0	2.3×10^{-4}
1.37×10^{-3}	2.2×10^{-4}
3.3×10^{-3}	2.1×10^{-4}

4 船尾ビルジ渦発生部流れの観察

2 段系および棒の方法ならびに薬品塗膜法による船尾部流れの観察により、肥大船舶尾ビルジ部に 3 次元剥離が起きていると推定できた。このような限界流線の模様からの推定ではなく、より直接的に 3 次元剥離が起きビ

ルジ渦が発生する模様を観察できるか試みることにした。このために、ビルジ渦上流の模型表面のある一点上を流れる水に標識を混入し、その水が下流でどのように流れるかを、流れにほぼ直角方向のスリット照明により、模型の下流から上流に向け肉眼観察し写真撮影と映画撮影を行なう方法を採用した。Fig. 15 に観察方法を示す。

Fig. 15 Method for Observation of Flow at Stern Bilge

標識としてはまず電気分解による気泡を試みた。水の電気分解による方法¹²⁾は普通水中に直線またはジグザグに折曲げた白金線電極を置き、100~2000 V の直流または交流を連続または間欠的にかけ、0.05~2 A の電流を流して水を電気分解し微細な気泡を発生させ、観察方向に対しほぼ直角方向から強い照明を行なつて気泡の流れを観察する方法である。従来この方法は2次元の流れの観察に主として使用され、船尾のような3次元の流れに対して使用された例は少ない。

本実験では簡単のため、電源に 50 Hz 100 V の交流を用い、昇圧変圧器（1次 100 V, 2次 1200 V）とスライド変圧器（0~150 V, 3kVA）により昇圧した。また1次側に電動回転スイッチを設け間欠的に電流を断続できるようにした。

水の電気分解による方法では一般に照明は非常に強いものを使用する必要がある。本実験では回流水槽外部に設けた写真電球列や水中に設けた自動車前照灯用電球列などを使用してスリット照明を試みたが光量不足であつたので、劇場用ピンスポット 1kW 4基を使用することにした。この照明法の概略を Fig. 16 に示す。

流速が大きいと気泡雲の濃度が低くなり観察に不利であるから、流速は約 0.3 m/s とした。

はじめに模型船尾に直径 0.2 mm 長さ約 50 mm の白金線を表面に一致させて埋め込み、模型表面電極とした。他方の外部電極としては模型から約 0.1 m 離れた主流中に設けた直径 0.2 mm の白金線、または回流水槽本体を使用した。しかし、この模型表面電極では気泡発生量が少なく、船尾ビルジ渦付近の流れは混合が激しく拡散が甚しいため、観察困難であつた。外部電極を変えても影響は小さいようであつた。模型表面電極の表面積を大幅に増加すれば気泡発生量を大幅に増加できると考え、炭素棒や炭素板の使用を試みた。肉眼で観察可能となつたのは電動機用炭素刷子を使用した場合であつた。炭素電極の長辺は限界流線の方向に一致させた。Fig. 17 にこの模型表面電極位置を示す。しかしこの場合でも気泡雲が忽ち拡散する

Fig. 16 Method of Lighting

Fig. 17 Position of Electrode

ため、コントラストが不足し写真撮影、映画撮影はともに良い結果がえられなかつた。Fig. 18 に水の電気分解法による写真撮影結果のスケッチ例を示す。

スリット照明のため、肋骨線形状は明るく撮されているが、気泡雲は薄くなつてコントラストが良くない。

電気分解による気泡は非常に微細であり光の反射が

Fig. 18 Sketch of Flow Observed by Electrolysis Method,

Position : S. No. 3/4, $U_0 = 0.30$ m/s
Film : Tri X, Shutter : 1/15 sec
Iris : F2

不十分であること、また気泡発生量をさらに増すことは上述の電源と電極ではできないことなどの理由で電気分解法の使用を中止し、粒子が電気分解気泡より大きく光の反射の良いものとして 150 番程度のアルミ微粉を標識として選んだ。アルミ微粉の水中での沈降速度は流速 0.5 m/s 程度では殆んど無視できるようであつたので、流速は約 0.5 m/s とした。

アルミ微粉はメタノール中に懸濁させ、注射器で手動で模型表面から表面に沿つて下流に向け吹出した。吹出し管を Fig. 19 に、吹出し管位置を Fig. 20 に示す。吹出し方向は限界流線の方に一致させた。アルミ粉懸濁

Fig. 20 Position of Injection Tubes

Fig. 19 Injection Tube

液吹出し速度は約 0.2~0.6 m/s である。照明は Fig. 16 に示すようにし、肉眼観察および写真撮影を行なつた。

その結果は良好で流れの状態を良く観察することができ

た。Fig. 21 にアルミ微粉による写真撮影結果例を示す。8 mm 映画撮影には劇場用ピンスポット 4 基でも光量不足であつたので良い結果はえられなかつた。そこで劇場用アーク灯 60 V 20 A を船側と船底に向け 1 基ずつ計 2 基を使用し光量を増したところ良い結果をえた。

Fig. 21 Results of Flow Observation by means of Injection of Aluminium Powder Suspension,

Position of Injection Tube : A, $U_0 = 0.50$ m/s

Lighted Position : (a) S. No. 9/10

(b) S. No. 1/2

(c) S. No. 2/10

Film : Tri X, Shutter : 1/8 sec.

Iris : F2.8

以上の方法による実験で、アルミ微粉は混合による拡散が大きい、吹出し口下流のある位置までは模型表面に沿つて流れ、ある位置から模型表面から離れ始め、下流では渦に巻込まれていることが観察された。すなわち肥大船普通型船尾ビルジ部に 3 次元的な剥離が起きていて、ビルジ渦の成因はこの剥離にあるといえる。

薬品塗膜その他の方法による限界流線観測の結果で、ビルジ部の剥離線が比較的明瞭に現われ、付着線が不明瞭である原因は、本実験で観察されたように剥離線の位置が比較的安定しているのに対し、剥離した流れの変動が激しく付着線の変動が大きいことにもあると考えられる。

電気分解法を船尾ビルジ部流れの観察に利用するには、本実験で使用した装置には不十分な点があり、電源、電極、照明などなお改良すべき点が多い。

5 結 言

船尾ビルジ渦に対する尺度影響を調査するため、肥大船の小型模型を使用して船尾境界層の吸込みにより見かけ上レイノルズ数を増加させる方法を採用し、各種流線観測と速度分布等の測定を行なった。また船尾ビルジ部における流れを電気分解法およびアルミ微粉吹出し法で観察した。その結果を要約すると下記ようになる。

(1) レイノルズ数の増加とともに船尾ビルジ渦の中心は船体中心線面に近付き位置が下がる傾向があると推定される。

(2) 普通型船尾の肥大船では、船尾ビルジ部に 3 次元剥離が起きていてビルジ渦の成因はこの剥離にある。

(3) 本実験程度の境界層吸込みにより船尾ビルジ渦発生に対する見かけのレイノルズ数を大幅に増加できる。吸込み位置を改善すればさらに大きな見かけレイノルズ数がえられると推定される。

(4) 吸込みにより模型の伴流係数を大幅に減少できる。

(5) 本実験では、船尾ビルジ渦造渦抵抗係数に対する吸込みの影響は小さい。従つて船尾ビルジ渦造渦抵抗係数に対する尺度影響は小さいと推定される。

なお、本研究の一部は昭和 40 および 41 年度文部省科学研究費によることを付記する。

参 考 文 献

- 1) Tetsuo, T. : Investigations on Vortices Generated at the Bilge, Proceedings 11th I. T. T. C. (1967)
- 2) 大楠円, 要正博 : 肥大船船尾付近の水 flow, 三井造船技報第 56 号 (1966)
- 3) Maruo, H., Ikehata, M. : Observation of the Flow Pattern around Ship Models, Proceedings 11th I. T. T. C. (1967)
- 4) 笹島秀雄 : 大型肥大船型の船尾をめぐつて, 船舶, 第 39 巻, 1 月号 (1966)
- 5) 笹島秀雄, 田中一郎, 鈴木敏夫 : 肥大船の伴流分布, 造船協会論文集第 120 号 (1967)
- 6) 別所正利 : 肋骨線に関する考察, 造船協会論文集第 122 号 (1968)
- 7) Kowalski, T. : Boundary Layer Suction Influence on Scale Effects of Self-propelled Models, Quart. Trans. R. I. N. A., Vol. 107, No. 2 (1965)
- 8) 田古里哲夫 : 船底彎曲部付近から発生する渦, 造船協会誌第 450 号 (1967)
- 9) 乾崇夫, 竹沢誠二 : 特殊塗膜による一, 二の水槽試験, 造船協会論文集第 92 号 (1957)
- 10) 乾崇夫, 菊池義男, 岩田達三 : 安息香酸塗膜による模型船 Wave Profile の測定, 造船協会論文集第 100 号 (1957)
- 11) Lachman, G. V. : Boundary Layer and Flow Control, Pergamon Press (1961)
- 12) 浅沼強, 武田定彦 : 水の電気分解による流れの可視化について, 日本機械学会論文集第 31 巻第 222 号 (1965)