1. 肥大船のビルジ渦の発生機構

三菱重工(株)長崎研究所 徳永 啓三

Generation of Stern Bilge Vortices on Full Hull Form

K. Tokunaga*

To study the generation and development of bilge vortices around the stern of full ship form, flow observations were carried out for small ship models in a water channel using dye tracer.

With a simplified wall-sided hull form, the shape of bottom flat and bilge radius were varied. A conventional hull form was also tested.

As a result, it was found that the size of bilge vortices were affected significantly by the shape of bottom flat of stern, i.e. bottom flat with smaller shoulder angle produces vortices of smaller radius and blunter one produces larger vortices. For conventional full ship forms, the bilge vortices became visible approximately at the square station 1 (10 % ship length from stern). Further it was found that the core of bilge vortices moved toward the water surface with the increase of radius of bilge circle.

1. まえがき

肥大船の船尾には船底のビルジ部を回る流れによりビルジ渦と呼ばれる縦渦が発生することが知られており、これまでもトレーサーやタフトを用いた可視化が行われている。^{1~10)} しかし、この縦渦が船尾のどのあたりから発生しどのように発達していくかその全体の過程を一望できるような可視化例はあまりないようである。

本報告では船尾のビルジ渦の生成、発達の様子を把握するため、船体模型の壁面に沿ってトレーサーを注入し、その挙動を船尾船底ビルジ方向から観察した結果を述べる。ついで、この可視化手法を用いて船型の変化がビルジ渦の発生及び発達に及ぼす影響を調べた。

2. 実験装置および方法

実験はFig. 1に示すような小型水槽(4 m × 0.6 m × 0.6 m、片方の側面はアクリル樹脂の窓)を用いて行った。

* Nagasaki Experimental Tank, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 3-48 Bunkyo-Machi, Nagasaki

Fig. 1 Experimental apparatus

水槽上部に小型台車を2台連結して配置し、一方の台車で模型船を曳航し、他方の台車にカメラ（35mm スチール、16mm シネカメラ）、観測窓、水中鏡を取り付け模型船周り、特に船尾ビルジ付近を船底から観察できるようにした。トレーサーとしては市販のペンレコーダー用インク（赤、青の2色）を用いた。トレーサーの放出には内径0.6mmの注射針を使い、その先端を模型船表面と一致させ、上方にトレーサー用タンクを設けた。

3. 供試模型

SR107 研究部会で用いられた鉱石運搬船の相似模型A⁽¹⁾（Fig. 2 参照）

$$L_{pp} = 0.5 \text{ m}, \quad B = 0.073 \text{ m}, \quad d = 0.028 \text{ m}, \quad C_{bp} = 0.83$$

をベースとして、これと主要目が同一で、ビルジサークル、平底面 (bottom flat) 形状の異なる4船型 (B~E) を用いることにした。

B, C 船型は船首尾の平底面の形状をA船型とほぼ同一にしたもので、D, E 船型は船尾の平底面、肩部角度 θ を 30° と2倍にしたものである。なお、これらの船型はすべてパラフィンで製作した。

Fig. 2 Ship models used

4. 実験結果

4.1 A船型に対する結果

A船型に対する可視化の結果をFig. 3に示す。船底から注入したトレーサーはビルジを回り、S.S.1近傍までは各々独立した流線となっているが、S.S.1より後方になると互いにかみあって渦を巻き、拡散し始める。これは従来から言われているように船底からビルジ部へ回る境界層流れが三次元剥離により互いに巻き込むことを示している。

なお、今回使用した模型船Aの8m相似模型周りの流場を5孔ピトー管により計測した結果¹¹⁾はFig. 4に示すとおりで、S.S.1あたりからビルジ渦が発生し始めており、可視化の結果とはほぼ対応している。

ただし、船尾端での渦の中心は可視化による方が水面に近くなっている。これは可視化の方のレイノルズ数 R_n が低いためと思われる²⁾

$$v=17.1\text{cm/s}, R_n^*=9.6 \times 10^4$$

$$t=1/125\text{s}, f=11$$

Fig.3 Flow around model A

Fig.4 Results of wake measurement for 8m similar model ($R_n=1.2 \times 10^7$)

* $R_n = vL/\nu$, v : 曳航速度, L : 船長, ν : 動粘性係数

4.2 船型の変化に対する結果

A船型と主要目が同一のB～E船型4種の可視化結果をFig. 5に示す。ビルジ部が直角なB, D船型では各々、ビルジ部が丸いC, E船型よりも流れのまき込み方が強く、かつ、渦はビルジの近傍にて発生していることがわかる。一方ビルジが丸味を帯びると渦の発生個所は船尾方向に移り、その中心も船底よりやや上方へ向うようになる。この結果は Tatinclaux の実験結果¹²⁾と同じ傾向である。

次に平底面の形状の異なるBとD, CとE船型を比較すると平底面の後肩部角度 θ の大きいD, E船型の方が流線の巻き込みの半径が大きいことがわかる。このことは平底面の面積（ここでは後肩部角度）が渦の強さと比例関係にあるという田中拓ら¹³⁾の結果と対応している。なお、後肩部角度 θ の大きいD, E船型の船尾の水面近傍では水線に沿う2次元剥離が発生して複雑な様相を呈している。

model B ($\theta=15^\circ$, sharp bilge)
 $v=17.0 \text{ cm/s}$, $R_n=9.5 \times 10^4$

model C ($\theta=15^\circ$, round bilge)
 $v=17.3 \text{ cm/s}$, $R_n=9.7 \times 10^4$

model D ($\theta=30^\circ$, sharp bilge)
 $v=16.8 \text{ cm/s}$, $R_n=9.4 \times 10^4$

model E ($\theta=30^\circ$, round bilge)
 $v=17.1 \text{ cm/s}$, $R_n=9.6 \times 10^4$

$t=1/125 \text{ s}$, $f=11$

Fig.5 Comparison of flow around simplified ship models

5 デルタ翼による縦渦のモデル化

以上のことから船尾の平底面形状がビルジ渦の発生を大きく支配していることが分かったので、ここで船尾船底をデルタ翼に置換して、B～E船型に対応する4種のデルタ翼を製作し (Fig.6参照)、これらを通常とは逆方向、すなわち尖端部

が後方になるように配置し、迎角 $\alpha=15^\circ$ で曳航した。ここでも赤青2色のインクをトレーサーとした。

可視化の結果をFig.7に示す。

Fig.6 Delta wings corresponding to bottom flat of ships

Fig.7 Comparison of flow around delta wings

端部を丸めないNo.1, 3と丸めたNo.2, 4とを各々比較すると、端部を丸めたNo.2, 4の方の渦が弱く、また、渦を真横からみたときの渦中心の軌跡と翼面との角度は若干大きくなっている。この傾向は船型B～Eに対するビルジ渦の場合と類似しており、船尾部をデルタ翼に近似してビルジ渦の発生を定性的に説明できるものと思われる。

6. あとがき

船尾のビルジ渦がどのあたりから発生し、どのように発達していくか、その全体の過程を可視化できるような装置を製作し、種々の船型について観察を行った。その結果、肥大船の船底の境界層流れが船尾のビルジ部を回りビルジ真上あるいは上方において3次元的に剥離した流れが渦となって巻き込みビルジ渦が形成されることを確認し通常の肥大船型の場合S.S.1付近以降でこの3次元剥離が発生していることが分かった。

また船尾船底のビルジが丸みを帯びると渦の発生は船尾方向へ移り、その中心も水面方向へ移動すること、および平底面の後肩部角度が大きくなると渦の半径が大きくなることが分かった。

さらに船尾船底をデルタ翼に置換することで船尾ビルジ渦の発生と定性的に対応する結果を得た。すなわちデルタ翼の尖端部を後方にした状態で曳航した結果翼両端の前縁部近傍から発生する渦は模型船で見られる渦の挙動によく類似しており、前縁部を丸めた方が渦が弱くかつ渦の中心が翼面より遠ざかる方向にいくなど模型船で観察された傾向に類似していることを示した。

最後に本可視化実験を遂行するにあたり三菱重工(株)長崎研究所推進性能研究室谷林英毅室長ならびに同室馬場栄一主務に種々御討論を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 種子田定俊他：船の剝離渦(I)，(II)，九大応用力学研究所所報 第27(29)号，1967(68)，P1(41)
- 2) 田古里哲夫他：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，1968，P49
- 3) 田古里哲夫：肥大船の渦、抵抗、推進シンポジウム，1968，P55
- 4) 田古里哲夫：肥大船型のビルジ渦の観察、第1回流れの可視化シンポジウム，1973，P73
- 5) 松本憲洋：フェノルフタレン法による船尾周りの流れ，同上，P77
- 6) 仲渡道夫他：回流水槽における船尾形状の系統的实验，関西造船協会誌 第126号，1967，P29
- 7) 乾 崇夫他：肋骨線が垂直な肥大船の船尾渦に関する実験、日本造船学会論文集，第138号，1975，P46
- 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，P14
- 9) 不破 健 他：色素トレーサー法による斜航模型船まわりの流場観測，流れの可視化，Vol. 1，No. 2，1981，P141
- 10) 田中拓他：透明模型船による可視化実験の試みについて，流れの可視化 Vol. 2，No. 6，1982，P225
- 11) Nagamatsu, T., Flow Measurements near the Stern of a Model of a Full Form Ship, Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 30, 1981, P481
- 12) Tatinclaux, Jean-Claude., Experimental Investigation of the Drag Induced by Bilge Vortices, Schiffstechnik, Heft 87, 1970, P37, 1
- 13) 田中拓他：船型主要目が船尾縦渦におよぼす影響，第38回船研講演会，1981，P33