透明模型船による可視化実験の 試みについて

船舶技術研究所 田中 拓, 日夏 宗考^o
(株)西日本流体技研 松井 志郎, 恋塚 初

Study on flow visualization with a transparent ship model

Hiraku TANAKA*, Munehiko HINATSU*
Shiro MATSUI**, Hajime KOIZUKA**

In general, ship hull forms are so complicated that the flow visualization has not been easy. The authors complete a ship model with transparent hull in order to study on new experiments of flow visualization around hulls and propellers. Using the transparent ship model, not only flow visualizations can be made from inside of the model but also the lighting from inside is possible. Especially, direct measurements of the cross flow angle will be widely applied by means of the observation of tracer's flowlines from inside of model.

In this paper, a transparent ship model and some applications are introduced as follows.

- 1) Observation of streamline by tracer method.
- 2) Observation of the distribution of cross flow angle by use of the H_2 bubble method.

1 緒 言

船体は一般に複雑な3次元形状をしており流れの可視化が容易な形状でない。従来、船体まわりの流れの可視化実験は主に回流水槽や曳航水槽で行われ、このため観測が船側、あるいは船底などの一方向からだけに限られていた。そこで今回、透明模型船を製作し、これを用いて流れの可視化実験を試みた。透明模型船を用いれば、船体内側からの視角で観測が可能となり流場の全体的な把握には極めて便利である。また船体の内側からの照明も可能となり観測条件の改善が図られる。また船体表面に対して垂直に観測することが容易なため cross flow angle の境界層内分布の可視化も可能となる。さらに、レーザー流速計(LDV)を用いて

* Ship Research Institute; 6-38-1, Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181 Japan

** West Japan Fluid Engineering Laboratory Co, Ltd,
283, Tanagata-cho, Sasebo, Nagasaki, 858 Japan

壁面付近の流速を計測する際に壁面からの反射光の影響も抑えられ、従来困難であった壁面付近の流速計測にも有用である。本報告においては、まず透明模型の紹介を、そしてそれを用いて行った可視化実験例を示すことにする。

2 透明模型船について^{*}

通常、模型船の製作精度は誤差が0.2mm以内程度のものが要求される。このように複雑で精度を要求される透明模型船の製作法として透明樹脂による注型法を採用することにした。使用した透明樹脂は硬化歪を抑えるため極度に遅硬化性の特殊エポキシ樹脂を選んだ。製作方法は図-1に示すように精度よく仕上げられた滑面を持つ船体外形状の型①を製作し、これに等間隙を有するように船体内型②を設置する。この間隙に上述のエポキシ樹脂③を注入する。注入に際しては樹脂温を加減するように室温を調整する必要があり最適作業温度は22~27℃である。これより高温になると発熱による硬化歪の発生、透明不良、又はゲル化による粘度上昇のため脱泡が不良となる。逆に低温の場合は、硬化時間が非常に長くなり粘度が増して表面張力が大きくなり内部に気泡が残ることになる。このように適切な温度管理のもとで、硬化剤と主剤の混合時に混入する気泡を取り除くため樹脂は注入前に脱泡装置を経て十分に脱泡されるようにした。

① Female mould	② Male mould
③ Resin	④ Resin tank
⑤ Vacuum pump	⑥ Pressure guage

Fig. 1. Schematic diagram of model casting

今回製作した透明模型船は長さ2m、肉厚は6mmとし、船体長さ方向に4ヶ所の補強材を設けている。完全硬化に要する時間は樹脂温、室温、流入量によりかなり大きく変化するが、今回の模型船においては30日程度要した。完全硬化後、内外型をはずし研磨材で磨き、さらにバフ加工により透明度を高めている。今回使用したエポキシ樹脂の特性を表-1に示す。

3 可視化実験

3-1 注入流脈法による船体まわりの流れの追跡

船尾部、特にプロペラ面に流入する流体の履歴を調べるために、船側、船底、それにビルジ部の3ヶ所から色素液(アイゼンシーマーカーF5)を流出し、船尾部の

^{*} (株)西日本流体技研、実用新案申請中

各断面に船体内部から順次スリット光線をあて、SS. $1\frac{1}{2}$ からプロペラ面まで追跡した。この方法は、色素液の拡散のため下流付近では流れの様子が不明確になる欠点があるが、最も手軽にできる手法の一つであり採用した。また色素液の流出量はコックで調節し、液が噴出しないようにした。実験状態は満載状態の65%、速度は $F_n = \frac{V}{\sqrt{Lg}} = 0.18$ 、 $V = 0.797 \text{ m/s}$ とし、曳航状態と自航状態(模型船自航点)の2状態で行った。観測結果例を図-2、図-3に示す。図-2は曳航状態におけるビルジ部から流出させた色素液を各断面毎に追跡した例、図-3は自航状態で同じ実験を行った結果である。この結果をもとにBody plan上に色素液の範囲を移し取った図を図-4、図-5にそれぞれ曳航状態、自航状態として示す。これより、船側近傍の流体は水面に拡がり、プロペラ面に流入する流体はそのほとんどが船底からくることがわかる。またこれらの図ではわからないが縦渦の様子も観測され、またプロペラ作動時においては、SS. $\frac{1}{2}$ 付近から後部にかけて水面近傍の流体が船体に沿って吸い込まれていくことが認められた。

Table-1. Characteristics of resin

Items of Testing		Base	Hardener
Mixing ratio		100	40
Color		Transparency	Pale yellow Transparency
Viscosity	cps. at 25C°	800-1600	
Specific Gravity		1.1	
Hardness	Rockwell R	110	
Tensile Strength	Kg/cm ²	580	
Compressive Strength	Kg/cm ²	700	
Bending Strength	Kg/cm ²	695	
Deformation Starting Temperature	C°	55	
Impact Strength	Charpy Kg-cm/cm ²	3	

3-2 水素気泡法による二次流れ角(cross flow angle)の定量測定を試み

1でも述べた様に透明模型の大きな利点の一つに模型内側から壁面に垂直に観測できることが挙げられる。これを利用して水素気泡法を用いて境界層内のcross flow angleの分布を可視化によって求めることを試みた。実験状態は満載とし、曳航状態、自航状態に対して図-6に示すポテンシャル流線に沿って調査した。このときの速度は $F_n = 0.15$ とした。陽極には銅板を、陰極線にはエナメル線を用い

Fig. 6. Streamline

at S.S. $1\frac{1}{4}$

at S.S. 1

at S.S. $\frac{3}{4}$ at S.S. $\frac{1}{2}$

Fig. 2. Examples of tracer method (towing condition)

Outlet S.S. $1\frac{1}{2}$, 0.5 WL at S.S. $1\frac{1}{4}$

at S.S. 1

at S.S. $\frac{3}{4}$

Fig. 3. Examples of tracer method (self propulsion condition)

Outlet S.S. $1\frac{1}{2}$, 0.5 WL

一部ナイフで傷をつけ気泡発生点を設けた。印加電圧は130Vとした。エナメル線は十分細く水素気泡の浮力による影響は無視できた。実験装置を図-7に示す。壁面位置では水素気泡が船体表面に付着するので壁面位置の設定は容易であり、これを基準としてエナメル線を順次ずらして撮影した。撮影には接写リングを用いた。結果の一例を図-8に、それらから角度を読み取って整理した結果を図-9に示す。今回は、一応壁面から25mmの位置における流向をポテンシャル流れの方向と一致するものとし、全25mmの位置の流向を基準にして cross flow angle を求めた。この結果、流速分布のねじれのうちでプロペラの吸い込み作用による成分は S.S. $\frac{3}{4}$ 付近まではほとんど認められず、S.S. $\frac{1}{2}$ において壁面から5mm程度の厚さに限って角度が急激に大きくなり、プロペラに向って吸い込まれている様子がわかる。これはトレーサによる可視化でも壁面付近の流体がプロペラに吸い込まれていくことが認められた事と一致する。

4 結 言

船体まわりの流れの可視化を容易にするため、透明模型船を製作し可視化実験を試みた。透明模型船を用いると、従来困難であった船尾付近の流れの観測も容易になり非常に有用であることが確かめられた。また模型船のレンズ効果による像

OUTLET S.S. 2, 5WL
WITHOUT PROPELLER 65% LOAD

OUTLET S.S. 2, 5WL
WITH PROPELLER 65% LOAD

OUTLET S.S. 1 1/2, 0.5WL
WITHOUT PROPELLER 65% LOAD

OUTLET S.S. 1 1/2, 0.5WL
WITH PROPELLER 65% LOAD

OUTLET S.S. 2, BOTTOM, 3BL
WITHOUT PROPELLER 65% LOAD

OUTLET S.S. 2, BOTTOM, 3BL
WITH PROPELLER 65% LOAD

Fig. 4. Region of tracer at each section (towing condition)

Fig. 5. Region of tracer at each section (self propulsion condition)

の歪も当初予想していたよりも小さいものであった。レカレながら、可視化により定量解析を行うには無視できない問題であり、像歪の修正法等、今後に残された問題である。

A: ANODE (Cu PLATE)
 B: POWER UNIT
 C: CAMERA
 E: CATHODE (ENAMEL WIRE)
 H: H₂ BUBBLES
 M: MARK
 P: PULLEY
 S: SCALE
 W: WEIGHT

Fig. 7. Apparatus of cross flow observation (H₂ bubble method)

H₁: H₂ BUBBLES NEAR THE WALL
 H₂: H₂ BUBBLES AWAY FROM THE WALL

Fig. 8. Example of cross flow observation (at S.S. 1/2)

Fig. 9. Distribution of cross flow angle