18 斜航するタンカー船型まわりの流場観測

船舶技術研究所 二村 正[○], 野中晃二, 不破 健

Observation of wake flow on a tanker model with drift angle

Tadashi NIMURA*, Koji NONAKA*, Takeshi FUWA*

For a full tanker ship model running with a constant drift angle, oil film method and dye tracer method of flow visualization technique were applied to the observation of separation vortices, streamlines near the ship hull and limiting streamlines on the hull surface. Comparing these results with measured pressure distribution on the hull and vorticity distribution in the wake flow, a lot of information about the flow field obtained by tank experiment was confirmed to have consistence each other. For example, position of 3-D separation lines and directions of surface streamlines correspond well to the peak and gradient of pressure distribution respectively. It is shown that flow visualizations techniques are quite useful to investigate not only the flow field structure but also the ship motion, because separation of flow, initiation and behavior of vortices are keys to understand the wake flow and hydrodynamic force acting on the ship in maneuvering motion.

1. はじめに

運航の安全を確保する上で、船の操縦性能を的確に把握することは重要であるが、現在のところ操縦運動中の船体に働く流体力の精密な推定には、模型船による水槽試験（流体力あるいは運動の計測）が不可欠である。それは操縦運動をする船体まわりの流場が複雑で、剝離渦を伴うその構造や、流体力の発生機構が十分に解明されていないためである。著者らは、流体力と船体まわり流場の関係を総合的に調べており、さきに単純化した数式船型について若干の考察を報告した^(1,2)。また、実用船型として幅広のタンカーをとりあげ、斜航する模型船の船体表面圧力分布計測⁽³⁾、渦度分布計測、注入流脈法による剝離渦および船体表面流の可視化、油膜法による限界流線の可視化を行った。今回は、可視化実験で撮影されたタンカー船型における剝離渦および流線の写真を紹介するとともに、圧力分布、渦度分布の計測結果と対比し、検討した結果得られた剝離位置や、渦の形成状態などの若干の知見について報告する。

2. 模型船および実験方法

剝離渦および船体表面流の注入流脈法による可視化は、曳航水槽（50m×8m×4.5m）で行った。模型船は Table 1 に示す長さ 4m のタンカー船型で、

L _{pp}	4.0	m
B	0.8	m
d	0.293	m
C _B	0.820	
L/B	5.0	

Table 1. Principal Particulars of Ship Model

* Ship Research Institute ; Mitaka, Tokyo

プロペラを外し舵も中央に固定している。Fig 1に実験配置図を示す。船底、船側などの撮影は、水槽底に沈めたカメラボックスと移動架台に取り付けた水中カメラにより行った。照明には水中ランプと水面上のフラッドランプを併用した。トレーサースは蛍光性ポスターカラー水溶液を使用し、内径1.2mmφの圧力計測孔（総計542ヶ所）から注入した。トレーサースの拡散等を考えて $U = 0.05\text{m/sec}$ ($Fn = 0.008$, $Rn = 1.8 \times 10^5$)の船速とし、斜航角 β は 0° から 20° まで 5° おきに実験を行った。

油膜法による限界流線の可視化は、回流水槽（測定部断面 $0.6\text{m} \times 0.45\text{m}$ ）で行い、模型船は長さ 0.8m の同一船型である。油膜には流動パラフィン、カーボンブラック、オリーブ油、オレイン酸の混合液を用いた。流速は $0.3 \sim 0.4\text{m/sec}$ ($Fn = 0.056$, $Rn = 2.4 \times 10^5$)、斜航角 β は 0° から 15° まで 5° おきに実験した。

船体表面の圧力分布計測には 4m 模型を使用し、圧力計測孔と、10台の差圧計をビニール管で結び順次圧力計測を行った。船速は 0.939m/sec ($Fn = 0.15$, $Rn = 3.3 \times 10^6$)で、斜航角は 0° から 20° まで 5° おきに計測した。

渦度分布計測には 4m 模型とRotor型渦度計を使用した。船速は 0.939m/sec ($Fn = 0.15$, $Rn = 3.3 \times 10^6$)で実験を行った。斜航角は $0^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ で代表的な横断面で計測した。渦度計及び計測法については、文献(4)を参照されたい。

3. 直進する船体まわりの流れ

直進する船体まわりの流れの可視化は推進性能の改善や、自航試験の不安定現象の解明等の為、各所で多数実施されている。特に、船首ビルジ渦と船尾ビルジ渦については種々の検討が行なわれている。

船首ビルジ渦は特に大型肥大船に良くみられ、形状抵抗の一要素となると考えられている。この渦は、強い渦に成長することなく発生後、崩壊して拡散することや、船首形状の改良により減少するなどの報告がされている^(5,6)。今回のタンカー船型については、この船首ビルジ渦がかなり明瞭に観察された。Fig 2に注入流脈法による斜航角 $\beta = 0^\circ$ の船側流線のスケッチを、Photo 1に $\beta = 5^\circ$ の船底流線を示す($\beta = 0^\circ$ の写真はコントラストが悪かったため、ここでは $\beta = 5^\circ$ の写真としたが、 $\beta = 0^\circ$ における流線の様

Fig 1. Arrangement for Observation

Photo 1. Bottom View of Surface Flow ($\beta = 5^\circ$)

Fig 2. Sketch of Surface Flow ($\beta = 0^\circ$)

子は Back側(写真上方)とほぼ同じに観察された)。また、Fig 3に $\beta = 0^\circ$ の船体横断面内の表面圧力分布を破線で示す。なお、この圧力は静止状態との圧力差であり、船体内側を正圧、船体外側を負圧として示した。Fig 2の流線に見られるように、船首付近では流れはかなり下向きを示し、ビルジを回って船底へ流れが流入する。この際 Photo 1に見られる剝離渦が発生する。これは Fig 3の圧力分布からも予想されることで、S.S. $9\frac{1}{2}$ では船側と比べ船底ビルジ部で圧力が低くなるため流れが下向きとなる。流れがビルジを回った所で圧力勾配が正に変わり、この部分で剝離が発生するものと思われる。この剝離渦は S.S. $9\frac{3}{4}$ から $8\frac{1}{2}$ あたりまで渦を形成するが、その後拡散して渦としての確認は出来なくなる。

船尾ビルジ渦は推進抵抗や、プロペラ起振力、操縦性能等に大きな影響を及ぼすため非常に多くの研究が行なわれている^(5,7)。今回のタンカー船型では、注入流脈法の可視化によると、船底を流れてきたトレーサーが船尾ビルジを回り船側へ流れ込む際、船体から離れ渦に巻き込まれる。しかし、トレーサーの拡散が激しくその後の渦の状態は確認出来なかった。船尾ビルジ渦に対する剝離位置や流線の方向は、船首ビルジ渦と同様 Fig 3の S.S. 2や S.S. 1の圧力分布からも予想される。

直進状態においては船体まわりに上記の船首ビルジ渦と船尾ビルジ渦の他に、S.S. 8付近の水面近くに剝離が観察された。Fig 2の船側流線では S.S. 9から流したトレーサーは S.S. 8に近づくくと速度が低下し、この付近に蹴む。また S.S. 8から流したトレーサーが逆流する様子が観察された。この剝離の発生は Fig 3に示す S.S. $9\frac{1}{2}$, 9, 8の水面近くの圧力分布を船体長手方向に比較することによっても想像される。

この他、S.S. 2付近にも剝離が非常に不明瞭ながら認められる。

4. 斜航する船体まわりの流れ

斜航する船体には剝離渦が存在することが知られている^(6,9)。これは翼理論における自由渦のモデルと対応し、横力発生の主要因と考えられる。今回、可視化に使用したタンカー模型には、斜航中にいくつかの渦が確認された。以下に直進から斜航することにより生ずる渦の変化について報告する。

直進状態の船首ビルジ渦は、S.S. $9\frac{3}{4}$ から S.S. $8\frac{1}{2}$ 付近の船底で観察されたが、斜航角が増すにしたがい剝離位置や渦の挙動が大きく変化する。斜航角 0° と 15° の船底限界流線の油膜法による可視化を Photo 2と Photo 3に示す。 $\beta = 0^\circ$ では両側のビルジに沿って黒い油膜の集積した剝離域が見られるが、斜航角が増すにしたがい Back側(写真下方)では剝離域が小さくなり、Photo 3の $\beta = 15^\circ$ になると船首船底の剝離域はほとんどが認められなくなる。一方、Face

Fig 3. Measured Pressure Distributions ($\beta = 0^\circ, 15^\circ$)

Fig 5 に $\beta = 15^\circ$, S.S. $3/4$ における渦度分布の計測結果を示す。これによると、船首渦の他に2つの渦が存在する。油膜法の結果より判断してこの2つの渦は直進時に見られた S.S. 2 付近に発生する剝離渦と、船尾ビルジ渦が斜航により強くなったものであると思われる(以下、船尾渦と呼ぶ)。注入流脈法による渦の可視化では S.S. 2 付近に発生する剝離渦の確認は出来なかった。しかし、船尾渦は船首渦ほど強い渦核は確認できないものの、S.S. 3 付近から船尾までのトレーサーを広い領域にわたりゆっくりと巻き込みながら流れる様子が観察される。なお、Face 側の船尾ビルジ渦は $\beta = 15^\circ$ になってもわずかながら発生している⁽¹⁰⁾。Photo 5 に船首渦と船尾渦の水面上からのスナップ写真を示す。

Photo 5. Visualization of Bow Vortex and Stern Vortex ($\beta = 15^\circ$)

Fig 6. Wake Flow on a Ship Model with Drift Angle

直進状態で観察された S.S. 8 と S.S. 2 の水面付近に発生する剝離は(たとえば Fig 4 の流線に見られるように多少の位置のずれはあるものの)、Face側、Back側、斜航角の変化(0° から 20°)にかかわらず認められた。今回の可視化実験により確認された剝離渦(あるいは剝離)を Fig 6 に示す。

Fig 3 に $\beta = 15^\circ$ の船体表面圧力分布の結果を実線で示した。この圧力分布の計測結果から、可視化により観測された流線方向や剝離位置が推測される。例えば、Photo 3 の Face側、船底ビルジ部に見られた剝離域と、圧力分布のピーク位置がほぼ一致している。

Fig 7. Traces of Vortex Cores ($\beta = 15^\circ$)

5. 剝離渦の流出方向

剝離渦の流れ方は、剝離渦の強さや剝離位置同様、流場のモデル化を考える立場からは、興味深いところである。Fig 7 に渦度分布計測により求めた渦中心の軌跡を示す。S.S. 8 のビルジ部で発生した船首渦はゆっくりと上昇しながらほぼ船側に沿って流れる。船尾渦は、上下方向についてはほぼ水平に流れ、左右方向については斜航角の約1/2の角度で流れる。

6. むすび

斜航するタンカー船型まわりの流場を調べるため、剝離渦、船体表面流、限界流線の可視化実験を行った。その結果、斜航する船体に発生する剝離の位置や剝離渦の形成状態など、流場の構造の一端を知ることが出来た。また、船体表面の圧力分布から剝離の位置や、表面流線の方向が推察されることが示された。おわりに、油膜法の実験方法について御指導並びに御助言をいただいた東大工学部 岡本 恒 氏に感謝いたします。

参考文献

- 1). 野中 他 : 斜航船体まわりの流場と流体力の計算 , 西部造船会会報 第66号 1983年
- 2). 不破 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,
可視化シンボ 第9回 1981年
- 3). 不破 他 : 斜航船体まわりの圧力分布計測 , 船研講演会 第42回 1983年
- 4). 二村 他 : 斜航船体まわりの渦度分布計測 , 船研講演会 第38回 1981年
- 5). 田古里 : 肥大船型のビルジ渦の観察 , 可視化シンボ 第1回 1973年
- 6). 富山 他 : 肥大船の船首形状に関する研究 , 日本鋼管技報 No.51 1971年
- 7). 田古里 他 : 自航試験不安定現象発生機構に関する実験的研究,
関西造船協会誌 第176号 1980年
- 8). 種子田 他 : 船の剝離渦(Ⅱ) , 九大応用力学研究所報 第29号 1968年
- 9). 溝口 : 斜航船体まわりの流れと流体力 , 関西造船協会誌 第195号 1984年
- 10). 二村 : 斜航する模型船の船底の流れ(口絵写真),
流れの可視化学会誌 第15号 1983年