B243 タンカーに働く風荷重と流れの可視化

船舶技術研究所 二村正〇, 藤原敏文, 上野道雄, 野中晃二

Wind Loads and Flow Visualization around an Oil Tanker Model

Tadashi NIMURA*, Toshifumi FUJIWARA*, Michio UENO*, Koji NONAKA*

Wind forces and moment acting on a tanker ship model in ballast condition were measured at wind tunnel with a view to investigating effects of differences of wind velocity profile and small structural components such as hand rails or pipelines on weather deck upon wind loads. Wind flow around the tanker ship model was also visualized to clarify wind flow structures by smoke method and oil film method for various attack angles ranging from head wind to tail wind.

1. 緒言

船舶が港湾内などを低速で航行する場合、風の影響を強く受け、ある風速以上になると操船が困難となるなど、船舶の操縦性能に及ぼす風の影響は安全航行を計る上で重要な要素の一つである。このため、これまで多くの船型について風荷重の計測が行われているが、公表されている結果は古い船型のものが多く、現在運行している船舶の風荷重の計測が望まれている¹⁾。また、これまでの風荷重に関する研究報告では流体力の計測だけで、風の流れの様子についての報告はほとんどない。そこで、衝突・座礁事故を起こした場合、油流出による環境汚染が大きな問題となる大型のタンカー船型を取り上げ、風荷重の計測と、油膜法、スモーク法、スモークワイヤー法による流れの可視化を行い、大まかな流れの様子を把握した。風荷重の計測は、載荷状態の違いによる影響や風速の影響など種々の状態で行っているが、本報告では風荷重計測結果の一部として、風速分布の影響とデッキ上の手すりやクレーン、配管等細かな機装品の影響について述べる。また、可視化実験から得られた主要な剥離渦や剥離位置などの流れの様子について紹介する。

Fig.1 Model Ship

2. 模型船

実験は計測断面高さ2m、幅3mの回流型風洞（船舶技研、変動風水洞²⁾）で行った。

実験に使用した大型タンカーは、実船で船長 $Loa=327m$ 、満載状態の排水量 $W=25.8$ 万 t の 1/192.4 模型である。模型船の形状及び主要寸法を Fig.1 に示す。本報告では風の影響を受けやすい軽荷状態の結果について述べる。軽荷状態の模型は Fig.1 の斜線部より上の船体部分で、デッキ上の手すりやクレーン、配管

Fig.2 Wind Velocity Profile and Test Condition

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

等細かな艤装品 (以下, 艤装品と呼ぶ) まで再現されている。これらの艤装品は取り外しが可能である。

3. 風荷重計測

風荷重の計測はこれまで多くの船型について行われているが, 実験手法が確立されているとは言い難い。例えば, 風速分布や細かな艤装品の有無など種々の状態で実験が行われている。そこで, 本報告では風速分布の違いによる風荷重への影響と艤装品の有無による影響について述べる。

実験状態の概念図と風速分布の計測値をFig.2に示す。Condition Aは, 海上の風速分布³⁾を模擬した風速分布中に, 艤装品付きの模型を置いた状態である。海上風速分布は, 模型船の前方4mから6mの位置に高さ5cmの粗面板を14枚設置して作った。Condition Bは, 粗面板を取り外した風洞固有の風速分布中に, 艤装品付きの模型を置いた状態である。Condition Cは, 同じく風洞固有の風速分布中に, 艤装品無しの模型を置いた状態である。Condition Aの風速分布は, 模型の設置されている高さ以上まで海上の風速分布に近い分布となっている。Condition B, Cの風洞固有の風速分布では, 模型のデッキ付近まで境界層内である。

風荷重は風洞底面の回転盤の中心に埋め込まれた6分力検力計により計測した。座標系をFig.3に示す。風荷重は回転盤を回転させ, 風向 β を 5° 刻みに計測した。以下に示す風荷重の計測結果は, 風洞中央部での風速 $U_0=25\text{m/s}$ の状態, 代表長さを船長

($Loa=1.7\text{m}$) とすると $Re=2.8 \times 10^6$ の結果である。実船では例えば風速を 10m/s とすると $Re=2.2 \times 10^8$ である。Fig.4, 5, 6に前後力 X , 横力 Y , 回頭モーメント N の計測結果を示す。流体力はそれぞれ,

$$C_x = X / (0.5 \rho A_r U^2)$$

$$C_y = Y / (0.5 \rho A_L U^2)$$

$$C_n = N / (0.5 \rho A_L Lo U^2)$$

で無次元化している。 A_r , A_L はそれぞれ模型正面, 側面の艤装品を含まない投影面積である。 U はFig.1に示した H (海面からブリッジ上端まで) の平均風速で, Condition Aは $U=20.25\text{m/s}$, Condition B,Cは $U=23.48\text{m/s}$ である。

風速分布の違いによる影響としてCondition AとBを比較する。Condition Aの場合, 同じ風速で無次元化すると図に示す値の0.74倍でCondition Bに比べかなり小さな値となる。しかし, ここで示すように高さ H までの平均風速 U で無次元化することによりCondition Bに近い値となり, 無次元化の方法により実験条件の違いを補正することが可能と考えられる。

艤装品の有無の影響としてCondition BとCを比較する。 C_x に一部差が見られるが, 他はあまり大きな差は見られず, デッキ上の手すりやクレーン, 配管等細かな艤装品の影響は比較的小さい。これは, 大型タンカーであるため船体に比べ艤装品が小さいこと, また流れは角ばった船側などで剥離するためデッキ上の艤装品による剥離位置の変化が起こり難いためであると思われる。

4. 可視化手法及び可視化状態

大型タンカー船型まわりの大まかな流れの様子を把握するため, スモーク法, スモークワイヤ法, 油膜法による流れの可視化を行った。可視化は, 流れが比較的安定していること, 風荷重の計測値にあまり差がなかったことなどからなどから, Condition Cの

Fig.3 Coordinate System

Fig.4 Longitudinal Force ($U_0=25\text{m/s}$)

Fig.5 Side Force ($U_0=25\text{m/s}$)

Fig.6 Yawing Moment ($U_0=25\text{m/s}$)

状態で行った。ただし可視化法により風速 U_0 は異なる。

スモーク法はFig.7に示す装置により流動パラフィンを発煙（ミスト状態の可能性もある）させた。これを手動により移動させ剥離渦等の観察を行った。風速は $U_0=2\text{m/s}$ ($Re=0.2\times 10^6$) 程度である。

スモークワイヤー法は、模型が大きいことや目視による観察を主体としたため、なるべく多量の煙を数秒程度発生させるように、 0.45mm のニクロム線3本をより合わせた発煙線に、アルミニウム粉を混合させた流動パラフィンを塗布し発煙させた。このため通常のスモークワイヤー法に比べ発煙量が多く発煙時間も長くなったが、きれいな流脈線を得ることはできなかった。風速は $U_0=2\text{m/s}$ ($Re=0.2\times 10^6$) 程度である。

油膜法は、模型船が黒色のため、顔料に白色の二酸化チタン(TiO_2)を用い、流動パラフィン、オレイン酸と混合して船体表面及び回転盤にローラーで塗布した。風速は $U_0=25\text{m/s}$ ($Re=2.8\times 10^6$) で、油膜パターンが発達したところで送風を停止し観察、写真撮影を行った。

5. 大型タンカー船型まわりの流れ

可視化実験で観察された大型タンカー船型まわりの流れの様子のスケッチをFig.8,9,10,11,12に示す。なお、記入したベクトルは油膜の方向を示すものであり、流速とは対応していない。

Fig.8の $\beta=0^\circ$ （向風）の状態では、船首前方の海面上(A)と船尾ブリッジ前のデッキ上の位置(B)に馬蹄渦が見られる。これらの渦はスモーク法によりはっきりとした渦核が確認できるが、船側あるいはブリッジ横に回りこんだ所で拡散して後方の渦は確認できなくなる。また、船首デッキ上に前方からの流れが船首で剥離したための渦(C)がある。この渦は煙を巻き込むと直ちに拡散しデッキ一面に煙が広がる。確認できる渦としては、船尾でデッキ上の流れが船側に流れ剥離した一対の剥離渦(D)がある。この剥離渦は船尾まで船側の煙を巻き込みながら流れる。この他、 $\beta=0^\circ$ 以外の状態でも同様であるが、ブリッジや煙突などの風下は複雑な流れで、可視化による現象の把握はできなかった。

Fig.9の $\beta=40^\circ$ の状態では、図では船体の影になるが、船首から左舷側船体中央付近までの海面上に渦(A)が見られる。この渦はFig.8の馬蹄渦(A)が更に強くなったもので、はっきりとした渦核が確認できる。この馬蹄渦のスモーク法による可視化写真をFig.13に示す。 $\beta=0^\circ$ で見られたブリッジ前のデッキ上の馬蹄渦(B)も観察される。また、 $\beta=0^\circ$ のデッキ上の渦(C)は $\beta=40^\circ$ になると船首から左舷の後半部まで剥離線が伸び、船首デッキ上に煙を注入すると船体後半部までのデッキ上に煙が広がる。この他の特徴的な剥離渦として、船首船側から発生し、船体後方までデッキ上や海面上の煙を巻き込みながら徐々に大きくなる剥離渦(E)がある。この剥離渦のスモーク法による可視化写真をFig.14に示す。この剥離渦は $\beta=10^\circ$ 程度でも観察される。ところで、 $\beta=0^\circ$ で観察された一対の剥離渦(D)は、 $\beta=20^\circ$ 程度で左舷側の渦はなくなり、右舷側の渦は $\beta=10^\circ$ でかなり強くなる。しかし、 $\beta=20^\circ$ では剥離渦(E)に吸収されてしまうためか確認できなくなる。

Fig.10の $\beta=80^\circ$ の状態では $\beta=40^\circ$ と同じ種類の渦が観察さ

Fig.7 Smoke Generator

Fig.8 Sketch of Wake Flow ($\beta=0^\circ$)

Fig.9 Sketch of Wake Flow ($\beta=40^\circ$)

Fig.10 Sketch of Wake Flow ($\beta=80^\circ$)

れるが, 顕著な違いは渦に巻き込まれた煙の船体X方向の速度が非常に小さいことである。例えば剥離渦 (E) は, 船首で巻き込まれた煙のほとんどは船尾方向に流れるか拡散して風下に流されるが, 一部の煙は船体前方に流される。

Fig.11の $\beta=120^\circ$ 及びFig.12の $\beta=150^\circ$ の状態では, 船尾方向からの流れであるため, 基本的には $\beta=40^\circ$ を逆にした流れ場であるが, 船尾ブリッジがあるために更に乱れた流れになっている。Fig. 15に $\beta=120^\circ$ 船尾付近の油膜法の写真を示す。左舷水面に馬蹄渦 (A) の剥離線が見られる。また, 左舷デッキ上に渦 (C) が見られるが, ここにはブリッジの風上に発生する馬蹄渦 (B) 等も重なりあっているため複雑な剥離線となっている。右舷船側には剥離渦 (E) があり, 水面上に剥離線が観察される。

6. 結言

大型タンカー船型に働く風荷重の計測により, 風荷重の大きさや傾向が把握できた。また, 実験を行う高さ方向の風速分布の違いは無次元化の方法により補正することが可能であり, デッキ上の手すりやクレーン等細かな艤装品の影響は比較的小さいことがわかった。ただし, この結果は今回の大型タンカー船型でのみ成り立つことであり, 他の船型でのデータの蓄積が必要である。

流れの可視化実験により, 大まかではあるが大型タンカー船型まわりの流れの様子が把握できた。しかしこの流れは複雑で, 特にブリッジのまわりの流れを把握することは困難に近い。また, 流れ場と流体力の関係について検討を行うためには定量的な流れ場の計測が必要である。

参考文献

- 1) 例えば 藤野正隆 他: 外力下の操縦運動, 第3回操縦性シンポジウム, 1981.9
- 2) 森島弘吉: 低速風洞について, 第23回可視化情報シンポジウム, 1995.No.1
- 2) (社)日本造船学会海洋工学委員会性能部会編: 超大型浮体構造物, 成山堂書店, 1995

Fig.11 Sketch of Wake Flow ($\beta=120^\circ$)

Fig.12 Sketch of Wake Flow ($\beta=150^\circ$)

Fig.13 Vortex (A) (Smoke Method, $\beta=40^\circ$)

Fig.14 Vortex (E) (Smoke Method, $\beta=40^\circ$)

Fig.15 Stern View of Limiting Streamlines ($\beta=120^\circ$)