



〈連載 358〉

風による抵抗増加（その1）



大阪府立大学 名誉教授
池田 良穂

前回は波による抵抗増加について述べたが、それに続いて今回は、風による抵抗増加について述べたい。風もまた、船のスピードを落とし定時運航の妨げとなるが、これまであまり注目されてこなかった。

その原因は、水と空気との境界を走る船舶にとっては、水からの抵抗が絶対的に大きいからだ。水と空気では密度に800倍の違いがあり、そのため働く抵抗も水の方が約800倍は大きくなる。水面上と水中の正面面積の差や、抵抗係数の違いを考慮に入れても船に働く空気抵抗はせいぜい全体の2%程度であり、一般的には無視してもよい量だとみなされていた。従って、水面下の船体形状はたいへんな関心を払って研究開発されて設計されるが、水面上の船体形状には大きな注意が向かず、機能優先で形状が決まるのが普通だ。ただクルーズ客船やフェリー等は、乗客の気を引くための機能として「船体美」も重視されることもあるが、この場合でも乗客が気にするのは外観よりは、実際に利用する船内の快適性の方が重視されることが多い。船の外観の効果は、よほどの船ファンでなければ、パンフレットを見

てクルーズを決める時ぐらいかもしれない。

それでも、風圧抵抗を減らす試みがなかったわけではない。1930年代にアメリカで流線形フェリーとして登場した「カラカラ」は有名だ。当時、自動車や列車の世界で流線形がもてはやされていた影響のようだ。日本では、東海汽船の「橘丸」や「あけぼの丸」が流線形客船として有名であり、その後の同社運航船にもその名残がある。

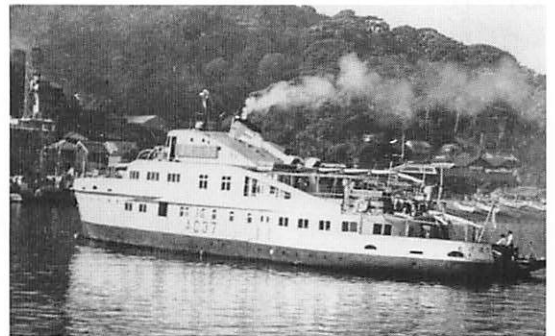


写真1 東海汽船の流線形客船「あけぼの丸」

これ以外でも、往年の大型定期客船では、できるだけ水面上の形を流線形に近づけた船は少なくない。すなわちブリッジ前面には傾斜や丸味をつけて流れをスムーズに後

方に流し、船尾の甲板を順次短くして船尾に傾斜をつけて後部の剥離を押しえた。こうした配慮をしないボックス型の船の風圧抵抗係数は0.7~1.0程度だが、配慮をすれば抵抗係数は半分程度の0.2~0.4程度と激減する。もちろん本当の流線形にすれば、抵抗係数は0.025~0.03程度にまで低下するが、これは船の積み付けを悪くする。

古い資料だが、アメリカの客船「プレジデント・フーパー」(「パナマ」として1939年に竣工)が建造された時に、流線形の上部構造にすることによる風圧抵抗係数がどのように変わるかの風洞試験が行われ、その結果が牧野光雄著「流体抵抗と流線形」に掲載されている(図1)。それによると、流線形化されていない原型に比べると船尾の階段状のテーパ(図中a)によって約44%の減少、さらに船首側のテーパによって約59%の減少、船尾の階段状テーパを曲面で成形すれば原型より約74%も抵抗が減ることが示された。

クルーズ客船でありかつ最後の定期ライナーでもあった「クイーン・エリザベス2」の上部構造は、確かに流線形に近い(写真2)。

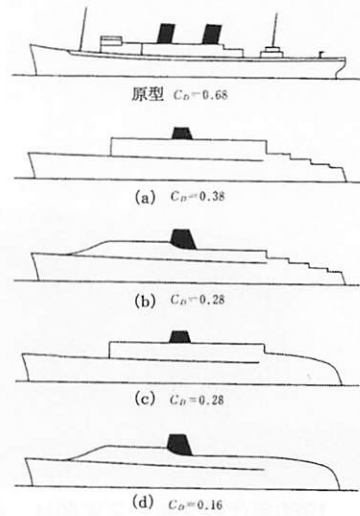


図1 客船の上部構造の流線形化による風圧抵抗の変化¹⁾

この優美な流線形へのこだわりを破壊したのは、現代クルーズの雄に躍り出たカーニバルクルーズのようだ。徹底して船内空間を広くして旅客定員を増やして収入を最大化するために船尾までデッキの幅を広げてカットするトランサムスターン形状をいち早く採用し「ティッシュボックス型」とも呼ばれた(写真3)。この形状は最近のPCCやコンテナ船にも似ている。



写真2 ブリッジの前面を丸く、船尾甲板を徐々に傾斜をつけて下げて流線形を保った「クイーン・エリザベス2」



写真3 1980年代のクルーズ客船は、船内容積をできるだけ大きくするためにボックス形状となり、ティッシュボックス型と呼ばれて、風圧抵抗はあまり考慮されなくなった。

貨物船においてもせいぜい2%程度と考えられていた空気抵抗だが、水面上の船体が大きな船が登場して4~5%程度にまで達する状況がでてきた。船種としては自動車運搬船(PCC、PCTC)やRORO貨物船、デッキにコンテナを大量積載するコンテナ船である。これらの船の水面上正面投影面積は、図2に一例を示すように、水面下より水面上がはるかに大きい。

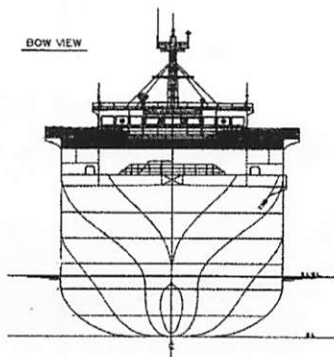


図2 内航RORO貨物船の正面図。水面下の投影面積に比べると、水面上の投影面積が数倍大きい。

水面上船体に働く空気抵抗の場合は、水面下の船体に働く抵抗とは違って、船速に

自然風の風速が加わるため、向かい風では相対風速が増加する。ノット単位での速度の数字を半分にすると、概略の秒速にすることができるので、20ノットで走行する船には、無風状態では秒速10mの風による風圧力と同じ空気抵抗が働くこととなる。そして風速10m/sの向風の中では倍の20m/sの相対風速となり、抵抗は流体速度の二乗に比例するから風圧抵抗は4倍になる。さらに低気圧による荒天下では風速20m/sは珍しくなく、この時には風圧抵抗は9倍にもなる。こうして荒れた海象の中では、波による抵抗増加だけでなく、風による抵抗増加が無視できない量となり、場合によっては波による抵抗増加を上回ることもあることが認識されるようになった。こうして造船各社、海運会社各社は風圧抵抗の低減に取り組むようになった。

ばら積み船やタンカーでは多くが、船尾機関船がほとんどで、船尾甲板上に大きな上部構造物をもっている。この形は、流線

形とは相反する逆流線形とも言える形であり、船尾に大きな渦を発生させて、抵抗係数が船首に構造物がある場合に比べて25%余り増加する。この時の船体周りの動圧力の分布をCFDで計算した結果を図3に示す。

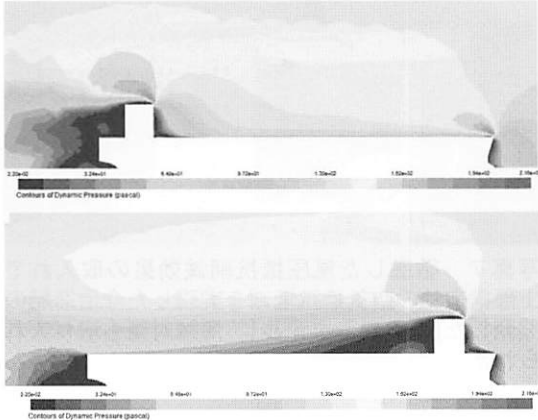


図3 上部構造物の位置による船体周りの向風による動圧分布の違い。風圧抵抗は船首ブリッジの方が約24%低くなる。

また上部構造物自体の形を変化させることでも空気抵抗は削減できる。直方体構造物の抵抗係数は1前後だが、同じ内部体積の流線形状構造物だと、その抵抗係数は約1/3になる。流線形「状」と記したのは、必ずしも真の流線形ではなく、「同様の渦低減の効果を生かした形」と言う意味である。しかし、曲面でできた構造物は使い勝手が悪く、かつ製造に手間がかかるという問題点もある。しかし、そうした問題に果敢に取り組んで球状船首ブリッジのPCCやコンテナ船(写真4)を建造しているのが旭洋造船である。

正面投影面積を減らすため、箱型の上部構造物を前後に長い立方体にすると、抵抗係数自体はあまり変わらないが、投影面積が減る分だけ抵抗値は下がる。このため大

型のばら積み船やタンカーでは、前後に細長い上部構造物として風抵抗を低減する試みがなされている(写真6)。



写真4 旭洋造船建造の内航コンテナ船「ながら」は、球状の船首ブリッジをもち、風圧抵抗の削減に成功している。

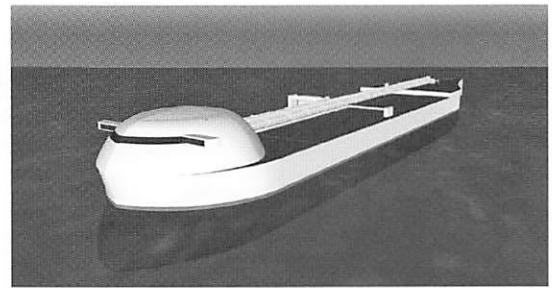


写真5 筆者らが研究開発したノンバラスト船は、球状船首ブリッジにして風圧抵抗を40%余り低減することに成功した。



写真6 上部構造物を縦長にして正面投影面積を減らすことで風抵抗を減らした大型ばら積み船。

さらに前面で剥がれた流れが上面及び側面で大きな渦を生成しないように、前端の角に丸みをつける、斜めにカットする、隅

切りをつける等の対策をとると、抵抗係数自体が大幅に減って空気抵抗を低減させることができる。また上部構造物の後部に適切なテーパを付けることで背後にできる渦を弱くすることができ、これも抵抗係数の低下をもたらす³⁾。このように四角柱の前後の形や、テーパ、丸み、隅切り等を活用すると流線形の上部構造物とほぼ同じ程度の空気抵抗の削減が可能である(図4)。

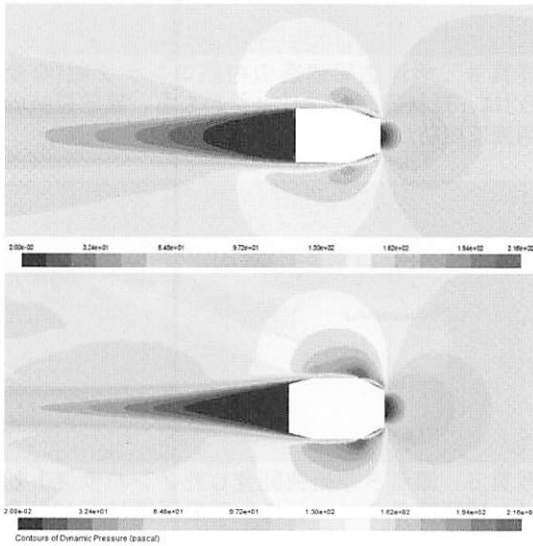


図4 上部構造物の前部にテーパをつけた場合(上)と、前後部両方にテーパをつけた場合の風による風圧分布のCFD計算結果(Ngo Van He博士論文⁴⁾より)

筆者が現役時代に今治造船と一緒に研究開発した大型船用の低空気抵抗上部構造は、今治造船の海賊対策と言うアイデアも付加されて「エアロシタデル」として実現して、

「シップ・オブ・ザ・イヤー2013」を受賞した。



写真7 徹底した風圧抵抗削減効果の取入れて上部構造物の空気抵抗低減を実現した今治造船の開発した「エアロシタデル」。海賊対策も取り入れられた。

【参考文献】

- 1) 牧野光雄、流体抵抗と流線形、産業図書、1994.10
- 2) 田中良和、船の経済運航とライフサイクルバリュー、実海域における船舶性能に関するシンポジウム、日本造船学会、2003
- 3) 何 他、船の上部構造物の風圧抵抗に及ぼす隅切り及びテールの影響、日本船舶海洋工学会講演会論文集、16号、2013
- 4) Ngo Van He, Application of CFD to Optimization of Hydrodynamic Performances of Non Ballast Ships, 大阪府立大学博士論文、2013