



肥大船の船首まわりの流れについて

1. はじめに

タンカーやバルクキャリアーは、石油、石炭、鉱石や穀物等を大量に輸送する海上物流の基盤であり、造船業にとり米の様な機種といえます。輸送効率を上げるために大きな肥った船体と比較的遅い速度（大きな波を立てない程度）が特徴ですので、性能上の問題はあまり無い様に考えられるかも知れませんが、輸送効率向上（出来るだけ大量の貨物を出来るだけ低い馬力で運ぶ）の追求は止む事が無く、その過程で、いろいろな流体力学上の課題が提示されています。本稿では、これらの中から船首まわりの水面に見られる現象について紹介します。

2. 肥大船首まわりの水面現象

船の抵抗は船が水面に波を造る事による抵抗（造波抵抗）と水面下の船体表面をこすって水が流れる事による抵抗（粘性抵抗）に分けられます。速度の遅い肥大船では粘性抵抗が大きな部分を占め、かつ興味あるテーマが沢山ありますが、これらについては別の機会に紹介することとし、造波抵抗について、その原因となる水面の現象について紹介します。図-1に瘠せた船と肥った船の船首付近の現象を模式的に示しました。瘠せた船では船首に沿って、漢字の八字形に広がりながら、船体はるか後方に伝わる波形が見られます。船首を少し太らせる、すなわち水線入射角を増すと、船首端から鳥の翼の様な模様が現われ、水線入射角の増加と共に翼の付け根が前方に移り、広げた翼の大きさも増えて行きます。更に、水線入射角を増すと、翼は船首端の前方に移り、首飾りのように船首を囲むようになります。翼の表面（水面）は、滑らかな山の形から複雑になり、首飾りとなる頃は水面は沸騰するように、あるいは波がぐだけたように激しく変動します。次に船首より少し後方の船体の平行部にかかる付近（肩）での現象を図-2に示します。瘠せた船で

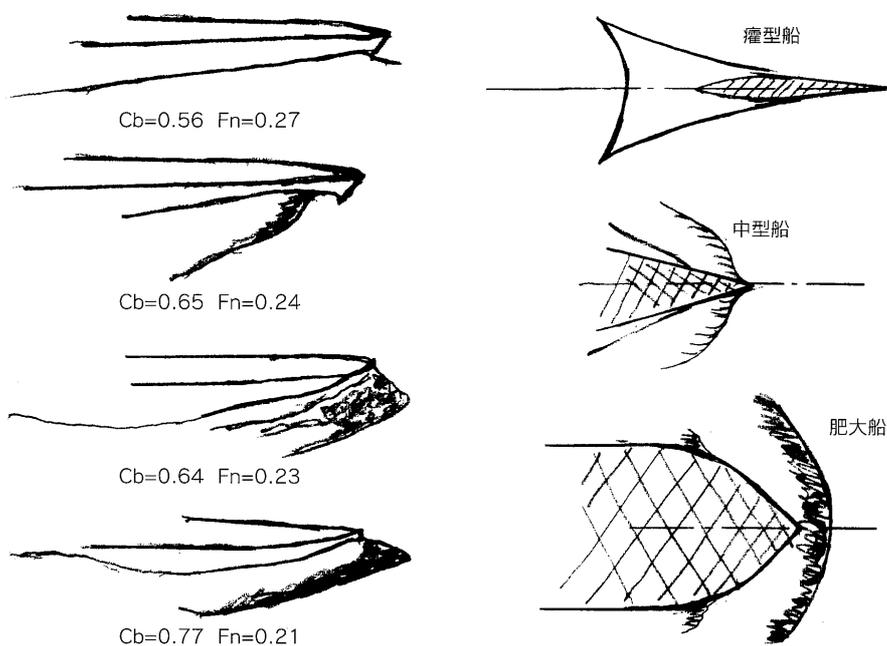


図-1 船体まわり水面現象比較（船首まわり）

は船体平行部に移る付近はごく滑らかな形をしているためか、特別の変化は見えませんが、船首が肥り肩付近の形状変化が大きくなるに従って、船体側面に沿い水面が急に落ち込んで、再び上昇する場所で、先に述べた鳥の翼の様な現象が見られるようになります。

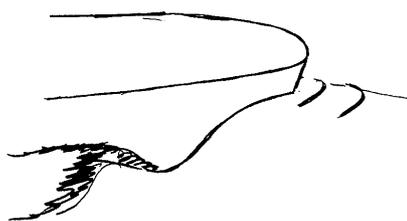


図-2 深い喫水における肩部の現象

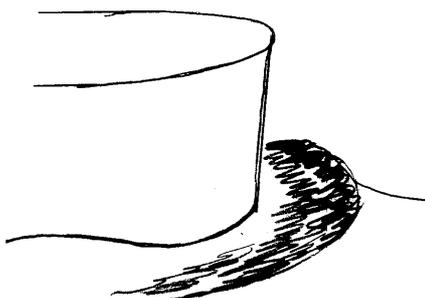


図-3 浅い喫水における船首まわりの現象

水路の中で早い流れから遅い流れに変わる際に見られる射流と常流の現象に似ています。このような先端や肩の形状によって変化する現象は弾丸やロケット等高速飛翔体のまわりにも起こることが知られています。次に同じ形状でも図-2に示すように喫水が深いと肩部分の現象が激しく、喫水が浅くなると同じ速度でも船首前方の崩波に似た現象が激しくなりますが（図-3）、これは浅い水路を走る船の前方に生じる現象と良く似ています。以上のように肥った船首のまわりの水面の現象には船首先端の角度（肥大度）、肩付近の形状の変化および喫水によって大きく変化する事が判っています。勿論、速度は重要な要素です。

このような現象の発生する原因は、船が航走する際に水に運動のエネルギーを与える、すなわち油が燃えてエンジンを動かし、エンジンはプロペラを駆動して船に推力を与え、それによって前進する船によってエネルギーを与えられた水は、それぞれの条件に応じて船のまわりに多様な流れの現象を作り出すのです。水に与えられたエネルギーのうち水面の運動に使われた分は、一

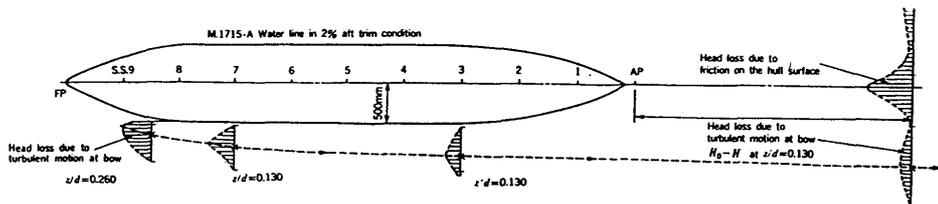


図-4 波のエネルギーの遷移

般には八字形の波となって船体はるか後方に運ばれ、やがて水の粘性によって減衰し渦となり、遂には水の分子の運動、すなわち熱となって行きます。肥大船の場合は波から渦への現象が、船のすぐ近くで生じるとも言えましょう。図-4は船首から船側に沿って、水面の極く近くにエネルギーの損失が存在している事、すなわち船首付近に見られる水面の乱れが渦となって船の後方に運ばれている事を示します。乱流理論によればエネルギーは徐々に小さなスケールの渦に引き渡され、遂には水分子の運動、すなわち熱となって、海の中に吸収されて行くこととされます。水に与えたエネルギーは船にとっては抵抗（ここでは造波抵抗）となり、それに勝つ為にプロペラが船を押し、プロペラを駆動するエンジンを動かす為に燃油が燃えるという事になります。

船型の設計とは船の形状と水面の波の現象との関係を調節して、水に与えるエネルギー（ここでは造波のエネルギー）を出来るだけ小さくしようとする事と言えます。では、具体的にどうしたら良いのでしょうかとなりますが、その前に、以上の様な水面の現象についてなされて来た理論的な検討、考察について紹介します。

3. 理論的な考察—線型波と非線型波

以上述べた船首まわりの水面の現象は空気の圧縮性による音速に近い航空機の翼前縁に発生する衝撃波、あるいは浅い水路に発生する浅水波の現象に似ています。しかし、これらの現象は音速や水深によって決まる波速というパラメータによって支配されるのに対し、船首まわりの水深の大きな

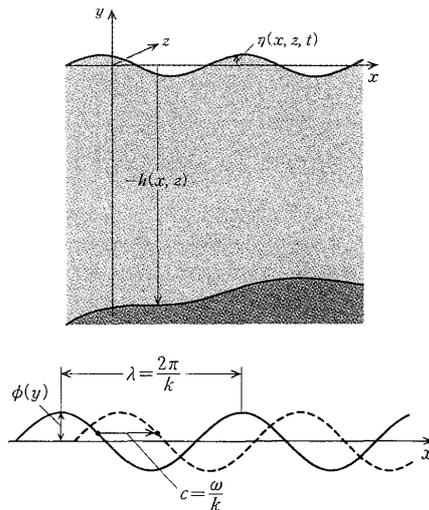


図-5 線形波

水面に発生する現象には明確なパラメータはありません。似ているからといって容易に検討手法の真似は出来ません。水面の波の性質を左右するのは、波高/波長比あるいは波による攪乱速度成分のオーダーです。波高/波長比あるいは攪乱速度が十分に小さいとするいわゆる線型波に対して、そのような仮定をしない非線型波は全く異なる特性を示す事が知られていますが、船首まわりの水面現象を理解しやすくするために、まず、2次元波の伝播現象に見られる非線型影響について簡単に紹介します。

少し難しいですが、進行する2次元波の満たすべき条件として、連続の条件、水面の運動学的条件および水底の境界条件があります。波の振幅が極めて小さい、として、運動学的条件を単純化、あるいは線型化する事によって、波動の式は図-5に示すような正弦波の形で得られます。この波の波長は $2\pi/k$ で位相速度 $C = \omega/k$ で伝播します。 $k/2\pi$ は単位長さあたりの波

数、 $\omega/2\pi$ は周期です。位相速度は C は $\sqrt{g\lambda/2\pi} \tan h(2\pi h/\lambda)$ で表わせ、図-6に示すような変化をします。 $h/\lambda \ll 1$ すなわち水深 h が波長 λ に比べて十分に小さい場合 $C = \sqrt{gh}$ となりますがこれは浅水波又は長波と呼ばれ、波長 λ によらない非分散の性質を持つとされます。深い水の場合 $C = \sqrt{g\lambda/2\pi}$ となり、位相速度が波長により変化する分散的性質をもつ短波あるいは深水波と呼ばれます。深水波とみなせるには波長が水深の2倍以下の場合です。又、水の運動は水面から波長程度の深さで実質的に無視出来るオーダーとなります。(次号に続く)

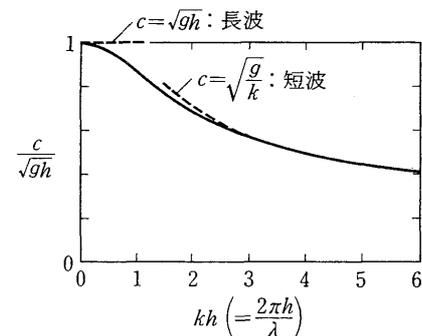


図-6 水の波の分散関係

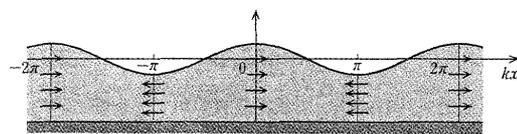


図-7 波長による水の運動

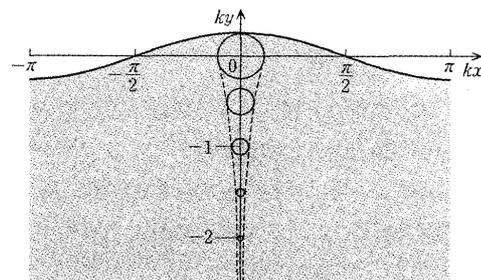


図-8 短波による水の運動